Periodisches System und Genesis der Elemente.

Von CURT SCHMIDT.

Einer der Hauptgründe, wenn nicht vielleicht schlechthin der Hauptgrund, aus dem die ungezählten, seit 1871 versuchten Umgestaltungen des periodischen Systems zu keinerlei Fortschritten in der Systematik der Elemente geführt haben, ja zumeist weniger den Eindruck von Neugestaltungen als von Verunstaltungen der klassischen Form der Tabelle hervorrufen, scheint mir darin zu liegen, daß man von der unberechtigten Annahme ausging, die Gesamtheit der Elemente müsse sich zu einem einheitlichen Ganzen zusammenfassen, in einem einheitlichen System unterbringen lassen.

Ich habe daher schon früher darzulegen versucht[1], daß man unter wesentlicher Beibehaltung der MENDELEJEFFschen Anordnung, die sich ja immer noch als der klarste und schärfste Ausdruck des die Elemente beherrschenden periodischen Gesetzes[2] erwiesen hat, und zu der man daher auch immer wieder notgedrungen zurückgekehrt ist, nicht nur die Hauptschwierigkeiten des periodischen Systems zum Verschwinden bringen, sondern zugleich auch einen tieferen Einblick in das Wesen desselben erlangen kann, wenn man der Systematik den Satz zugrunde legt, daß die zurzeit bekannten

[1] *Zeitschr. phys. Chem.* **75** (1911), 651—664.

[2] MENDELEJEFF hat von Anfang an scharf unterschieden (vgl. z. B. Grundlagen der Chemie [1891], S. 683) zwischen dem Gesetz — besser vielleicht Prinzip — der Periodizität, dessen Existenz wohl kaum noch angezweifelt werden dürfte, und dem Ausdruck, den das Prinzip in dem periodischen System gefunden hat und dessen Form ihn selbst keineswegs völlig befriedigte; vgl. C. SCHMIDT, Das periodische System, Leipzig 1917, S. 96. Ich vermag daher G. RUDORF nicht beizupflichten, wenn er unter Verwerfung der in England allgemein gebräuchlichen Bezeichnung „*Periodic law*" bemerkt (Das periodische System, 1904, S. 74): „Alle diese Unregelmäßigkeiten machen den Ausdruck «Periodisches System» passender als «Periodisches Gesetz»." Jene Unregelmäßigkeiten sind doch eben nicht auf Rechnung des Prinzips, sondern der ihm im System gegebenen Form zu setzen, wie ich im folgenden des näheren auszuführen versuchen werde. Ein gelegentlicher Hinweis auf den Unterschied der beiden häufig verwechselten Begriffe erscheint mir nicht unangebracht, um auch hier den von MENDELEJEFF gerügten „Verwirrungen in den chemischen Ideen vorzubeugen"; OSTWALDS Klassiker **68**, S. 41.

Elemente ein mehrfaches System bilden, dessen Partialsysteme lediglich in genetischem Zusammenhange stehen.

In meiner früheren Abhandlung habe ich diese Systeme als primäres bis quartäres unterschieden; will man jedoch im Hinblick auf den unbekannten frühesten Entwicklungsgang der Materie eine solche numerische Beschränkung der Systeme vermeiden, so wäre es vielleicht vorzuziehen, sie nach genetisch charakteristischen Vertretern als H-, He-, Fe-System und System der seltenen Erdmetalle zu bezeichnen. Indem ich, um Wiederholungen zu vermeiden, mir gestatte, des näheren wegen auf meine frühere Abhandlung oder auf mein Buch „Das periodische System der chemischen Elemente“ (Leipzig 1917) zu verweisen, möchte ich hier nur eine kurze Charakterisierung der Partialsysteme in tabellarischer Übersicht geben, wodurch zugleich der genetische Zusammenhang der Systeme in der gesetzmäßigen Abstufung ihrer einzelnen Charakterzüge überzeugend zum Vorschein kommt.

Tabelle 1.

Die Partialsysteme.

Eigenschaften.	Primäres oder H-System.	Sekundäres oder He-System.	Tertiäres oder Fe-System.	Quartäres od. System d. selt. Erdmetalle.
Natur der Glieder.	Metallmetalloide und Metalloidmetalle.	Metalle und Metalloide.	Metalle mit z. T. metalloiden Reminiszenzen.	Metalle.
Chemischer Charakter.	Metallische und metalloide Eigenschaften noch nicht differenziert.	Scharf ausgeprägt. Extreme Gegensätze. Schroffe Übergänge.	Ausgeprägt. Keine Gegensätze. Gemilderte Übergänge.	Gleichartige Elemente. Stetige Übergänge.
Valenz.	—	Bestimmt und gesetzmäßig abgestuft.	Schwankend und unregelmäßig abgestuft.	Konstant.
Elektrische Natur.	Elektropositive u. elektronegative Elemente wahrscheinlich in gleicher Zahl.	Mehr elektropositive Elemente.	Relativ noch mehr elektropositive Elemente.	Nur elektropositive Elemente.
Affinitätsverhältnisse.	—	Verbindungen.	Legierungen.	Feste Lösungen.
Zentralgruppe.	Odlings neutrale oder Zwischenkörper.	Isolierte nullwertige Edelgase.	Triplets nicht nullwertiger Metalle von Edelcharakter.	Gruppe dreiwertiger Metalle.

Die Hauptschwierigkeiten des periodischen Systems, im Vergleich mit denen die viel diskutierte Anomalie des Ar, Ni und Te

— weil schließlich doch nur durch die Wahl des Atomgewichts als unabhängig Veränderlicher bedingt — von untergeordneter Bedeutung erscheint, liegen in den folgenden Richtungen:

1. In der Unmöglichkeit, dasjenige Element, dem in der kosmischen Entwicklung der Materie eine der bedeutungsvollsten Rollen zugeteilt ist, den Wasserstoff, in das System einwandfrei einzuordnen, ein Umstand, der allein hinreichend wäre, die von Berthelot, Wyrouboff, Moissan und anderen hervorragenden Chemikern geäußerten Zweifel an der Existenz des periodischen Prinzips überhaupt zum wenigsten als nicht unbeachtlich erscheinen zu lassen,

2. in jener Erscheinung, die man, ohne sie erklären zu können, als „doppelte Periodizität" bezeichnet, und die zu der bekannten zwangsweisen und unnatürlichen Zusammenstellung chemisch völlig verschiedenartiger Elemente in derselben Gruppe des Systems geführt hat, wie von Cu, Ag, Au mit den Alkalimetallen oder von Mn mit den Halogenen,

3. in der Unmöglichkeit, die große und mit der Verfeinerung der analytischen Hilfsmittel wahrscheinlich beständig wachsende Zahl der Metalle der seltenen Erden anders wie als sogen. interperiodischen Knoten in das System einzuzwängen, was doch letzten Endes die Aufhebung des Prinzips der Periodizität bedeutet,

4. in dem Vorhandensein jener VIII. Gruppe, die sich dem System nicht organisch einfügt, sondern wie ein unbequemes und störendes Anhängsel anfügt, fremdartig im Charakter wie im triadenweisen Auftreten ihrer gemeiniglich nur als sogen. Übergangsglieder aufgefaßten Elemente.

Alle diese Schwierigkeiten bringt die von mir aufgestellte Theorie der Komplexität des periodischen Systems nicht nur mit einem Schlage zum Verschwinden, sondern sie erklärt auch, was mir als nicht weniger wesentlich erscheinen will, warum jene Schwierigkeiten überhaupt entstehen konnten.

Wenn man Wasserstoff als letztes Überbleibsel einer abgelaufenen Entwicklungsperiode der Materie, also als kosmischen Fremdling unter den terrestrischen Elementen betrachtet, was mit dem kosmischen Auftreten des Gases und seinen abnormen Eigenschaften im schönsten Einklang steht, so wird es ohne weiteres begreiflich, daß nicht nur alle Versuche, den Wasserstoff in das System der terrestrischen Elemente einzuordnen, scheitern mußten, sondern auch, daß man, wenn die Einordnung zwangsweise geschah,

zu so widersprechenden Ergebnissen gelangen mußte, wie sie sich in der Zuordnung des Elementes einerseits zu den Alkalimetallen (MENDELEJEFF), andererseits zu den Halogenen (O. MASSON und Sir WILLIAM RAMSAY) bekunden. Neuerdings hat man sich daher immer mehr daran gewöhnt, dem Wasserstoff außerhalb der Grenzen des Systems einen Platz anzuweisen, aber dies bedeutet, solange man die Absonderung des einen der wichtigsten Baustoffe der Weltkörper bildenden Gases von den anderen Elementen nicht zu erklären vermag, keinen Fortschritt, sondern lediglich einen Rückschritt zu dem bereits vor 47 Jahren von LOTHAR MEYER eingenommenen Standpunkt, daß nämlich Wasserstoff unter sämtlichen Elementen „eine Ausnahmestellung zu beanspruchen scheint“.[1]

Der eigenartige chemische Charakter des Wasserstoffs läßt sich kurz dahin definieren, daß das Element metallische und metalloide Eigenschaften in ungefähr gleichem Verhältnis in sich vereinigt, also die Fähigkeit besitzt, ebenso als elektropositives wie als elektronegatives Element zu fungieren, was besonders auffällig bei den metaleptischen Reaktionen hervortritt. Daher hat WILLIAM ODLING bereits 1861 in seinem *Manual of Chemistry* Wasserstoff sehr charakteristisch als „*neutral or intermediate body*“ bezeichnet; doch scheint das metallische Verhalten etwas vorzuwiegen, wie man ja auch längere Zeit Wasserstoff geradezu als ein gasförmiges Metall betrachtet hat und gewissermaßen eine Enttäuschung erfuhr, als DEWARS fester Wasserstoff keinerlei metallisches Aussehen verriet.[2] Wenn es gestattet ist, aus den abnormen Eigenschaften des Gases auf die Natur der anderen kosmischen Elemente zu schließen, so würde man folgern können, daß bei diesen, einem sehr frühen Entwicklungsstadium der Materie angehörenden Elementen die metallischen und die metalloiden Charaktere noch nicht individuell differenziert sind, ein Ergebnis, das sich dem allgemeinen Entwicklungsschema (Tabelle 1) sehr gut einfügt. Je nachdem die metalloiden oder metallischen Charaktere vorwiegen, bezeichne ich diese Elemente als Metallmetalloide bzw. Metalloidmetalle und betrachte demgemäß Wasserstoff als den letzten Repräsentanten der kosmischen Metalloidmetalle. Die eigentlichen ODLINGschen neutralen oder Zwischenkörper, bei denen sich die metalloiden und metallischen Eigenschaften genau das Gleichgewicht halten, vermitteln dann, in vollkommener

---

[1] *Lieb. Ann.*, Suppl. 7 (1870), 357.

[2] *Compt. rend.* **129** (1899), 451.

Analogie mit den anderen Partialsystemen, als Zentralkolonne den Übergang zwischen den beiden Gruppen der kosmischen Elemente. In dieser Natur des Wasserstoffs scheint mir der tiefste Grund dafür zu liegen, daß man, wie es sonst bei keinem anderen Elemente vorgekommen ist, zwischen Familien extremsten chemischen Charakters schwanken konnte, denen man das Gas zuweisen wollte.

Wenn ich die Lösung des Wasserstoffproblems, das mir, wie bereits oben bemerkt wurde, für die Existenzfrage des periodischen Gesetzes als eines Naturgesetzes in MENDELEJEFFS Sinne[1] von kritischer Bedeutung zu sein scheint, in der Richtung zu finden glaube, daß Wasserstoff einer besonderen Generation oder einem gesonderten System kosmischer Elemente angehört, so handelt es sich dabei keineswegs um eine ad hoc konstruierte und völlig isoliert stehende Hypothese, sondern um ein Prinzip, das auch auf die Systematik der terrestrischen Elemente in mancher Hinsicht neues Licht zu werfen geeignet ist, was ich für die Elemente der Nebengruppen des periodischen Systems und für die Metalle der seltenen Erden zu zeigen versuchte und durch Betrachtung der außerordentlich regelmäßig gebauten Kurve der Äquivalentvolumina, die mir lediglich als Mittel zum Zweck diente, auch zu begründen vermochte.

Es war mir daher eine erfreuliche Bestätigung meiner Grundanschauungen, daß man später auf verschiedenen Wegen zu gleichartigen Ergebnissen gelangt ist.

So wurde E. BAUR[2] (1911) durch das Studium der von ihm konstruierten Kurve der Logarithmen der Atomvolumina zu dem folgenden Resultat geführt: „In zweiter Linie kommt in unserer graphischen Darstellung ganz scharf der Unterschied der Haupt- und Nebenperioden zum Ausdruck. Der Hauptvorzug der Darstellung von CURT SCHMIDT wird also mit den logarithmischen Atomräumlichkeiten auch erhalten..... Der Umstand, daß die Nebenperioden ein quantitativ anderes Wachstumsgesetz befolgen, als die Hauptperioden, zeigt deutlich, daß man zwei verschiedene Generationen von Elementen unterscheiden kann. Diesen Unterschied hatte LOTHAR MEYERS Kurve nicht herausgebracht. — Im Anschluß an CURT SCHMIDT unterscheide ich: eine erste halbe Hauptperiode von Lithium zum Bor, die zweite Hauptperiode vom Bor zum Aluminium, die dritte von diesem zum Titan, die vierte

[1] Grundlagen der Chemie 1891, S. 692.
[2] *Zeitschr. phys. Chem.* **76** (1911), 573.

vom Selen zum Zirkon, die fünfte vom Tellur zum Cer, die sechste vom Element mit dem At.-Gew. 210 (Radiotellur oder Polonium) bis zum Uran. Zwischen die Hauptperioden schieben sich drei Nebenperioden ein: 1. vom Vanadin zum Arsen, 2. vom Niob zum Antimon, 3. vom Tantal zum Wismut. Die zwischen Cer und Tantal verbleibende Lücke wird nicht von einer Periode ausgefüllt, sondern von einem Elementenzug anderer Art, der Familie der seltenen Erden."

Die „zwei verschiedenen Generationen von Elementen" in den Haupt- und Nebengruppen der MENDELEJEFFschen Tabelle gelangen aber, wie mir scheint, in der von mir vorgeschlagenen Anordnung zu noch schärferem Ausdruck als in dem von E. BAUR aufgestellten System; vor allem jedoch finden sie, ebenso wie der „Elementenzug anderer Art", die Familie der seltenen Erdmetalle, zugleich ihre entwicklungsgeschichtliche Erklärung.

Nachdem ich ferner bereits 1911 den überraschend konformen Bau der Partialsysteme und die in ihnen sich offenbarende Tendenz nach Ausgleich aller chemischen Gegensätze und Unterschiede im Laufe der Entwicklung hervorgehoben hatte, eine Tendenz, die im System der seltenen Erdmetalle zurzeit den vollkommensten Ausdruck gefunden hat, ist R. J. MEYER[1] (1914) auf ganz anderem Wege, nämlich durch Bestimmung der bei der Hydrolyse sich einstellenden Wasserstoff-Ionenkonzentration zu dem Ergebnis gelangt, „daß die Gruppe der seltenen Erden ein kleines periodisches System für sich bildet, in dem alle Beziehungen[2] des Hauptsystems im kleinen nachgebildet sind".

Während ich mangels genauer Zahlenwerte für die Dichte der meisten Metalle der seltenen Erden bei der graphischen Darstellung ihrer Äquivalentvolumina nur eine schwach zickzackförmige Linie mit Neigung zu geradlinigem Verlauf konstatieren konnte und daraus auf eine einfache Reihe mit aufgehobener Periodizität schloß, hat E. BAUR (l. c.) mit genaueren Daten zwei periodische Reihen, nämlich

Pr	Sm	Gd	Dy	Er	Yb
Nd	Eu	Tb	Ho	Tu	Lu

gefunden, J. R. MEYER dagegen im System der seltenen Erden sogar drei kleine Perioden nachweisen können, von denen die erste

[1] Die Naturwissenschaften 2 (1914), 781—787.

[2] Doch cum grano salis zu verstehen, da die Valenz konstant ist.

durch die Reihe der Ceriterden (ausgenommen *Ce*), die zweite durch die der Terbin- und Erbinerden und die dritte durch die der Ytterbinerden in der folgenden Anordnung gebildet wird:

La	Pr	Nd	Sm	Eu
Gd	Tb	Dy	Ho	Er
Tu	—	—	Yb	Lu.

Es ist aber sehr charakteristisch, wenn J. R. MEYER hierzu bemerkt (a. a. O., S. 786): „Man darf nicht vergessen, daß die Änderungen, die wir hier von Element zu Element messen, von einer sehr kleinen Größenordnung sind; sie sind gar nicht vergleichbar mit den Eigenschaftsänderungen, die wir sonst in den Reihen des periodischen Systems von Glied zu Glied feststellen können. Alles spielt sich hier in ganz kleinen Intervallen ab, und die beobachtete Periodizität steht den Dimensionen ihrer Schwingungen nach in gar keiner Beziehung zu den anderen Perioden des Systems.“ Im Anschluß an diese Worte möchte ich mir gestatten, darauf hinzuweisen, daß mir ein prinzipieller Unterschied zwischen der MEYERschen und meiner Anordnung der seltenen Erdmetalle insofern nicht zu bestehen scheint, als die hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften zwischen den Ceriterden und den Gadolinit- oder Yttererden stehenden Terbinerden in MEYERS System die zentrale Reihe, in meinem System die zentrale Gruppe bilden, also in beiden Fällen eine vermittelnde Übergangsrolle spielen, wenn ich auch aus Analogiegründen an der von mir gegebenen Anordnung festhalten möchte.

Die Metalle der seltenen Erden bilden nach J. R. MEYER unter Berücksichtigung der Gesamtheit ihrer chemischen Eigenschaften einen „Knotenpunkt“ am Platze des La in der 8. Reihe des Systems. Allerdings wird dann dadurch, daß auf Lu mit dem Atomgewicht 174 Ce mit dem Atomgewicht 140 folgt, statt daß, wie man erwarten sollte, das Schlußglied der seltenen Erden mit dem Atomgewicht 174 sich direkt an Ta mit dem Atomgewicht 181 anschließen würde, die Atomgewichtsreihenfolge in empfindlicher Weise unterbrochen, aber diese Diskontinuität, bemerkt J. R. MEYER, müsse eben „hingenommen werden, wie man sich zu der gleichen Duldung in den Fällen Argon–Kalium, Kobalt–Nickel und Tellur–Jod hat entschließen müssen“.

Wenn man auch a priori die Möglichkeit nicht bezweifeln kann, daß an irgendeiner Stelle des Systems, etwa infolge einer Störung

im Kondensationsprozesse, statt eines Elementes eine Schar gleichartiger Elemente gebildet wurde, ähnlich wie „*intra Martem et Jovem*“ an Stelle eines Planeten der Schwarm der Asteroiden, so dürfte es doch vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkte aus kaum begreiflich erscheinen, wie ein solcher interperiodischer „Knoten“ in Gestalt eines Systems zu entstehen vermochte, das die Beziehungen des Hauptsystems in verkleinertem Maßstabe nachahmt. Diese Schwierigkeit verschwindet aber offenbar bei der von mir vertretenen Auffassung der Partialsysteme als unabhängiger Entwicklungsgebilde, und gleichzeitig scheint mir in dieser Richtung auch das eigentliche Wesen und die eigentliche Bedeutung des bereits von MENDELEJEFF[1] geahnten, aber vergeblich zu konstruieren versuchten „kubischen“ Systems zu liegen. Man braucht nämlich nur die drei Partialsysteme, statt sie in einer Ebene nebeneinander, im Raume parallel zueinander anzuordnen, um sofort ein räumliches oder dreidimensionales System zu erhalten, wie man richtiger für kubisches System sagen sollte.[2] Gibt man den Perioden des He- und Fe-Systems die gleiche lineare Ausdehnung, während man das System der seltenen Erdmetalle seinem chemischen Charakter gemäß auch geometrisch in entsprechend reduzierter Gestalt entwirft und räumlich etwa dem Lanthan gegenüber anordnet, so erhält man bei der Projektion dieser Systeme auf eine gemeinsame Ebene das MENDELEJEFFsche System in seiner üblichen Tabellenform, und man erkennt sofort, daß die doppelte Periodizität mit ihrer Begleiterscheinung der unnatürlichen Zusammenstellung von Elementen, ebenso wie der nicht minder problematische interperiodische Knoten der seltenen Erdmetalle nur die Folge eines solchen Projektionsprozesses sind

---

[1] In seiner Abhandlung „Über die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente“ (1869) äußerte sich MENDELEJEFF wie folgt: „Mich dünkt es außerdem am natürlichsten, ein kubisches System (das vorgeschlagene ist ein ebenes) zusammenzustellen, aber die Versuche zu dessen Konstruierung haben zu keinem eigentlichen Ergebnis geführt.“ OSTWALDS Klassiker 68, 32.

[2] So ist auch das von A. VAN DEN BROEK (*Physik. Zeitschr.* 12 [1911], 490—497) konstruierte „kubische“ System in Wirklichkeit ein parallelepipedisches mit dem Kantenverhältnis 3 : 5 : 8. Abgesehen davon, daß, wie VAN DEN BROEK selbst bemerkt, die erste kleine Periode „in das System nicht hineinzupassen scheint“, muß es Bedenken erregen, daß das System die Zahl der Elemente auf 120 beschränkt und dabei weder dem Wasserstoff noch den anderen kosmischen Elementen einen Platz einräumt.

und in ihm ihre einfache Erklärung finden. So findet auch hier eine planimetrische Antinomie ihre stereometrische Auflösung.

Auf den vollkommenen Parallelismus, der zwischen den Triplets der Fe-, Pd- und Pt-Metalle einerseits, den Edelgasen und den Metallen der Terbinerden andererseits hinsichtlich ihrer Stellung und Bedeutung in den zugehörigen Partialsystemen und in ihrem chemischen Charakter besteht, habe ich schon bei früherer Gelegenheit kurz hingewiesen, so daß jetzt jedenfalls kein Grund mehr besteht, diese Elemente, um mich JAS. LEWIS HOWES[1] Ausdrucksweise zu bedienen, „da sie nicht in eine regelmäßige periodische Anordnung hineinpassen, wie ISMAEL, in eine abnorme achte Gruppe zu verstoßen".

Meine früheren Ausführungen finden ihre ergänzende Bestätigung in den folgenden Betrachtungen über den Valenzcharakter dieser Elemente.

Was die viel diskutierte Wertigkeit der Tripletelemente anlangt, so ist bekanntlich R. ABEGG[2] auf Grund seiner Theorie der Elektrovalenz, die mir ganz allgemein für die Lösung des Valenzproblems von fundamentaler Bedeutung erscheint, zu dem merkwürdigen Ergebnis gelangt, daß jene Elemente eigentlich keine Normalvalenz, sondern nur Kontravalenz, und zwar ± 8 besitzen, wobei die negative Kontravalenz mit der Fähigkeit dieser Elemente zusammenhängt, in komplexe Anionen einzutreten. Allerdings wird man die Schlußweise, durch die ABEGG zu diesem Ergebnis gelangt ist, heute kaum noch als zwingend gelten lassen können, und daher hat denn auch G. RUDORF[3] die Meinung geäußert, „daß die Gruppe mit -8 Kontravalenzen nur hypothetisch ist und mit der Gruppe VIII nichts zu tun hat", da „doch ein Grund dafür vorliegen muß, warum die Valenz entgegen jeder mathematischen Auffassung von $+8$ zu -8 auf einmal umkehrt, ein Grund, den man bisher noch nicht aufgefunden hat". Es scheint mir aber, daß sich die vermißte Begründung dieses Zeichenwechsels doch auffinden und also die ABEGGsche Auffassung rechtfertigen läßt. Bei meiner Anordnung der Elemente erhält man nämlich für die Valenzverhältnisse im Helium- und Eisensystem das folgende Schema:

---

[1] *Science* **11** (1900), 1012 und **12** (1900), 20.

[2] Versuch einer Theorie der Valenz und der Molekularverbindungen. Christiania. *Videnskabsselelskabets Skrifter* I (1902), math.-naturw. Klasse Nr. 12.

[3] Das periodische System (1904), 115.

Tabelle 2.

Valenzverlauf im Helium- und Eisensystem.

	He-System.								Fe-System.								
Gruppe	X_1	X_2	X_3	He	Li	Be	B	C	V	Cr	Mn	Fe,Co,Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	**Gruppe**
Normalval.	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	±8	−7	−6	−5	−4	**Kontraval.**
Kontraval.	+5	+6	+7	±8	−7	−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	**Normalval.**

Mit Berücksichtigung des bereits von Abegg für die Haupt- und Nebengruppen der Mendelejeffschen Tabelle hervorgehobenen Umstandes, daß die Normalvalenz des He-Systems im Fe-System zu Kontravalenz wird und umgekehrt, erhält man vom Helium aus zu beiden Seiten eine regelmäßige Folge positiver bzw. negativer Valenzen, die in der Eisengruppe zusammentreffen und dort, gleichsam ineinander greifend und sich verkettend, den Ring schließen, was noch anschaulicher wird, wenn man das Schema als abgerollten Zylindermantel betrachtet.

Dieselbe Regelmäßigkeit wiederholt sich in der zweiten Reihe, wo die Valenzfolge beiderseits von der Eisengruppe ausgeht und in der Heliumgruppe sich schließt. Allerdings verlangt dann die hier herrschende Symmetrie auch für die Edelgase die Kontravalenz ±8, und in der Tat hat man, seitdem man das zweiwertige α-Teilchen kennen gelernt, und seitdem Sir J. J. Thomson[1] mittels seiner Methode der positiven Strahlen ein einwertiges Ion von der Masse 12 entdeckt hat, das er als $(He)_3^+$ betrachtet, wiederholt schon die Möglichkeit, ja die Notwendigkeit der Annahme in Erwägung gezogen, daß auch die Edelgase nicht valenzlos sind, und daß die Nichtbetätigung jeglicher Valenz gegenüber der Materie auf die unbezwingbar starke Affinität dieser Elemente zur Elektrizität zurückzuführen sei.[2]

Wenn durch die obige Betrachtungsweise[3] der Zeichenwechsel der Kontravalenz in der Eisengruppe begreiflich wird und demgemäß die Gruppe mit der Kontravalenz −8 nicht als bloß hypothetisch angesehen werden darf, so wird, wie Rudorf (l. c., S. 115) folgerichtig schließt, sofort auch die Existenz von Kontravalenzen bei Cu und Au erklärlich, weil diese Gruppe der mit der Kontravalenz −8 unmittelbar folgt. „Demnach,“ fährt Rudorf fort, „brauchen diese Metalle nicht zu den Alkalien zu gehören, mit

[1] *Phil. Mag.* 21 (1911), 225.

[2] Soddy, Chemie der Radioelemente, 1914, II. Teil, S. 79—83.

[3] Wie man ohne weiteres sieht, lassen sich analoge Betrachtungen über den Valenzverlauf auch für jedes Einzelsystem anstellen.

denen sie im übrigen keine großen Ähnlichkeiten zeigen." Überhaupt scheint mir die Cu-Gruppe auch im Hinblick auf den rasch wachsenden Edelcharakter ihrer Glieder in viel engerer Beziehung zur Zentralgruppe bzw. zu deren Ni-Triplet zu stehen, als dies sonst bei zwei Nachbargruppen des periodischen Systems der Fall ist.

Daß fast sämtliche Tripletelemente ihre maximale Valenz nicht betätigen, ist zunächst nur ein Sonderfall der von Abegg aus seiner Theorie gezogenen allgemeinen Folgerung, daß je größer die maximale Valenz eines Elementes ist, desto mehr Valenzstellen dazu neigen, latent zu werden, weshalb die Variabilität der Valenz sich gerade bei den Kontravalenzen zeigen muß, während die an Zahl geringeren Normalvalenzen fast immer vollständig in Wirkung treten. Von dem hier eingenommenen entwicklungsgeschichtlichen Standpunkte aus betrachtet, scheint mir das Verhalten der Eisen-, Palladium- und Platinmetalle in bezug auf ihre Valenzbetätigung sich aus dem allgemeinen Entwicklungsprinzip erklären zu lassen, nach dem bei den Anfangsgliedern jeder Entwicklungsreihe, mithin auch bei den Elementen der Primärserie jedes Partialsystems, Eigenschaften und Fähigkeiten zunächst nur in embryonaler (latenter) Anlage vorhanden oder noch nicht differenziert sind und sich erst im weiteren Fortgange des Entwicklungsprozesses herausbilden und in Wirksamkeit treten. Demgemäß beobachtet man in der Tat bei dem Triplet Fe, Ru, Os, das die höchsten Oxyde bildet, ebenso wie bei den anderen Abteilungen der Gruppe, mit zunehmendem Atomgewicht gleichzeitig ein Hervortreten neuer Kontravalenzen aus anfänglicher Latenz und eine Steigerung ihres Bindungsvermögens, die sich durch wachsende Stabilität der höheren Oxyde kundgibt. So existiert bei dem Typus von Salzen der säurebildenden Oxyde FeO_3, RuO_3, OsO_3 Kaliumferrat nur in Lösung und ist sehr unbeständig, Kaliumrutheniat ist beständig in trockenem Zustande, aber zersetzt sich langsam in Lösung, Kaliumosmiat endlich besitzt einen hohen Grad von Beständigkeit. Während Eisen von den ihm zukommenden 8 Valenzen erst 3 bei der Bildung von Sesquioxyd zu betätigen vermag, haben seine beiden höheren Homologa ihre 8 Valenzen völlig entwickelt und demgemäß die sauerstoffbindende Fähigkeit bis zur Bildung von Tetroxyden gesteigert. Doch ist dem allgemeinen Entwicklungsprinzip entsprechend Rutheniumtetroxyd, das sich bereits bei gewöhnlicher Temperatur langsam zersetzt und beim Erhitzen über 105° mit großer Heftigkeit explodiert, bei weitem weniger stabil als Osmiumtetroxyd.

Ähnliche Betrachtungen lassen sich bei den Triplets Ni, Pd, Pt und Co, Rh, Ir anstellen.

Die drei freien Stellen, mit denen das He-System beginnt, können, wie ich schon früher aus Analogiegründen schloß, in Wirklichkeit nicht leer sein, wenn auch die zugehörigen Elemente jedenfalls außerhalb des Bereiches der terrestrischen Chemie zu suchen sein werden. Da nämlich diese fehlenden Elemente, deren Atomgewichte größer als 1 und kleiner als 4 sind, offenbar einem sehr frühen Entwicklungsstadium der Materie angehören müssen, so läßt sich von vornherein erwarten, daß man über ihre Existenz nur durch das Studium der Spektra der kosmischen Nebel oder der heißesten Fixsterne wird entscheiden können. Die theoretische Bedeutung von Elementen, „die dem Wasserstoff näher stehen", hat MENDELEJEFF[1] bereits 1869 mit den Worten gekennzeichnet, daß sie „die wichtigste wissenschaftliche Errungenschaft ausmachen würden, die bei der Bekanntschaft mit neu zu entdeckenden Körpern erwartet werden darf".

Durch eine theoretische Untersuchung der Spektra der Nebel und der ihnen in der stellaren Entwicklung unmittelbar folgenden WOLF-RAYET-Sterne ist J. W. NICHOLSON[2] in einer Reihe von Arbeiten, die sämtlich während der Jahre 1911 bis 1914 in den *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* in London erschienen sind, zu dem Ergebnis gelangt, daß, abgesehen von den Strahlen des Wasserstoffs und des Heliums, alle übrigen Nebellinien, zum mindesten 25, durch die dynamischen Schwingungen der Atome einer kleinen Zahl sogen. „einfacher Elemente" hervorgerufen werden. Im Sinne der RUTHERFORDschen Hypothese über die Atomstruktur sind diese Atome, von denen es nicht mehr als neun verschiedene Elementararten gibt, dadurch charakterisiert, daß um einen positiven Elektrizitätskern, den Nodul, der die eigentliche Atommasse darstellt, ein einfacher Elektronenring rotiert, der aus gerade soviel Elektronen besteht, als der Nodul positive Elektrizitätseinheiten trägt, so daß also das ganze System nach außen hin neutral ist.

Die auf Grund dieser Vorstellungen von NICHOLSON berechneten

---

[1] OSTWALDS Klassiker 68, 38.

[2] Eine zusammenfassende Darstellung seiner Untersuchungen gibt NICHOLSON in seiner Note „*Sur les poids atomiques des éléments des nébuleuses*", *Compt. rend.* 158 (1914), 1322—1323; vgl. auch C. SCHMIDT, Das periodische System, S. 105 u. 127, Leipzig 1917.

Atomgewichte der einfachen Elemente betragen unter Beibehaltung seiner Nomenklatur

für den Protowasserstoff (Nodul +e) 0.0818,

für zwei Elemente (Nodul +2e bzw. +3e), die noch keinen Namen erhalten haben, 0.327,

für das von NICHOLSON als Nebulium bezeichnete Element (Nodul +4e), das den Strahl λ 5007 emittiert, 1.31,

für das Protofluor (Nodul +5e), ein Element, das sich auch in der Sonnenkorona vorfindet, 2.3604,

endlich für das Archonium (Nodul +6e), das außer dem Strahl λ 3729 u. a. auch den Strahl λ 4069 emittiert, 2.945.

Eine überraschende Bestätigung fanden diese Spekulationen NICHOLSONS durch die schönen Untersuchungen, die H. BOURGET, CH. FABRY und H. BUISSON[1] 1914 mit dem am FOUCAULTschen Spiegelteleskop des Marseiller Observatoriums montierten Interferometer über die verschiedenen monochromatischen Strahlungen des Orionnebels ausgeführt haben.

Die Wellenlängen der beiden Komponenten der sehr starken ultravioletten Doppellinie bei λ 3727 ergaben sich zu 3726.1 und 3728.838 A.-E. Diese Doppellinie gehört keinem auf der Erde vorkommenden Elemente an; sein Atomgewicht wurde aus der gemessenen Interferenzgrenze nach Folgerungen aus der kinetischen Gastheorie zu 2.74, also angenähert 3 berechnet. Ebenso wurde auch das Atomgewicht des Elementes, das die grüne Linie 5006 emittiert, zu etwa 2 ermittelt, ein etwas weniger sicherer Wert als der erste, weil er nur auf visuellem, nicht, wie jener, auf photographischem Wege gefunden wurde.

Die französischen Physiker bezeichnen das Element vom Atomgewicht 3 als Nebulium; es entspricht dem Archonium NICHOLSONS. Der von NICHOLSON für das von ihm als Nebulium bezeichnete Element berechnete Atomgewichtswert, den er bei anderer Gelegenheit auch zu 1.6277 angibt, steht wenigstens nicht in Widerspruch mit dem Ergebnis der französischen Physiker. Es wird daher gestattet sein, den 3 Elementen, mit denen das He-System beginnt, die Atomgewichte zuzuschreiben $X_1 = 1.31$ bzw. 1.6277; $X_2 = 2.36$; $X_3 = 2.95$.

Die noch hinsichtlich der Nomenklatur bestehende Zwiespältigkeit, insofern als von englischer Seite das Element X_1, von fran-

[1] *Sur le poids atomique du nébulium et la température de la nébuleuse d'Orion. Compt. rend.* 158 (1914), 1017—1019.

zösischer Seite das Element X_3 als Nebulium, also als die spezifische Nebelmaterie bezeichnet wird, legt den Gedanken nahe, auch in dieser für die Nebularchemie immerhin nicht ganz unwichtigen Frage eine Entscheidung zu suchen. Die für das Element X_3 charakteristische starke Doppellinie im Ultraviolett bei der Wellenlänge 3727 wurde im Jahre 1882 von Sir WILLIAM HUGGINS[1] auf dem von ihm gewonnenen ersten Photogramm des Orion-Nebelspektrums entdeckt. Da aber diese Linie, wie HUGGINS 6 Jahre später fand, immer nur in unmittelbarer Nähe der mit dem Nebel physisch, nicht nur optisch verbundenen Trapezsterne erscheint, die der englische Astrophysiker geradezu für Verdichtungen aus der Nebelmaterie hält, während die Linie in entfernteren Regionen des Nebels nicht nachgewiesen werden kann und so beispielsweise auf den bekannten DRAPERschen Aufnahmen des Spektrums vom Orionnebel fehlt, so liegt, wie mir scheint, die Vermutung nahe, daß sie einem bereits weiter vorgeschrittenen Entwicklungsstadium der Nebelmaterie angehört. Dagegen ist die Linie 5007 in sämtlichen Nebelspektren stets die hellste und in schwächeren Nebeln überhaupt allein noch sichtbar.[2] Sie koinzidiert so eng mit einer Linie des Stickstoffs, daß man sie längere Zeit geradezu diesem Gase hat zuschreiben wollen. Auch ohne diese sonderbare Koinzidenz damit in Zusammenhang bringen zu wollen, daß nach meiner Systematik das Element X_1 der Stickstoffgruppe angehört und der unmittelbare Vorläufer des Stickstoffs ist, glaube ich, aus dem allgemeinen Auftreten der Linie in den Nebelspektren den Schluß ziehen zu dürfen, daß das Element X_1, wie es auch seinem niedrigeren Atomgewicht entspricht, als die spezifische Nebelmaterie, das eigentliche Nebulium (Nu) zu betrachten ist.

Die beiden anderen Elemente aber werde ich provisorisch als Ekasauerstoff (Eo) und Ekafluor (Ef) bezeichnen.

Wenn schließlich BOURGET, FABRY und BUISSON bemerken[3]: „*Il est curieux de remarquer que la classification des éléments donnée récemment par Rydberg*[4] *conduit à admettre, entre l'hydrogène et l'hélium, deux élements inconnus ayant respectivement les poids*

[1] *Compt. rend.* **94** (1882), 685.

[2] SCHEINER, Spektralanalyse der Gestirne, S. 247, Leipzig 1890.

[3] l. c., p. 1019.

[4] Gemeint ist RYDBERGS System der quadratischen Gruppen (*Phil. Mag.* 28 [1914]), das ich in meinem Buche über das periodische System (S. 109) näher charakterisiert habe.

atomiques 2 et 3“, so gestatte ich mir, die französischen Physiker darauf hinzuweisen, daß in dieser Hinsicht meine Systematik in noch höherem Grade „bemerkenswert“ ist, indem sie zwischen Wasserstoff und Helium sogar 3 Elemente nicht nur zuläßt, sondern auch verlangt.

Seit den Tagen DÖBEREINERS und PETTENKOFERS und während der ganzen Geschichte des eigentlichen periodischen Systems hat man auf die Differenzen zwischen den Atomgewichten der aufeinander folgenden oder der in einer natürlichen Familie vereinten Elemente einen besonderen Wert gelegt. Aber die zahllosen Versuche, in dieser Hinsicht numerische Regelmäßigkeiten in der Ordnung der Atomgewichte zu entdecken, „scheiterten“, wie Sir WILLIAM RAMSAY[1] resigniert bekennt, „zuletzt doch an den unregelmäßigen Differenzen“. Vom genetischen Standpunkte aus scheint mir überhaupt den Verhältnissen zwischen den Atomgewichten der Glieder einer natürlichen Familie eine größere Bedeutung zuerkannt werden zu müssen, als den Differenzen. Gleichwohl sind meines Wissens nach diese Quotienten bisher nur einmal, und zwar von MENDELEJEFF[2] selbst, aber auch nur in einem ganz speziellen Falle und für wenige Elemente in Betracht gezogen worden.

Tabelle 3.

Die q-Werte der Elemente.

Nu	Eo	Ef	He	Li	Be	B	C										
8.59	6.78	6.44	5.06	3.31	2.67	2.46	2.36										
N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si										
2.22	2.0	1.87	1.97	1.70	1.65	1.63	1.70										
P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
2.41	2.47	2.25	2.08	2.19	2.19	2.02	1.88	1.83	1.85	—	1.82	1.74	1.82	1.70	1.72	1.64	1.64
As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
1.60	1.61	1.59	1.57	1.55	1.57	1.56	1.55	1.94	1.92		1.88	1.88	1.83	1.83	1.78	1.78	1.74
Sb	Te	J	X	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W		Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb
1.73	1.65	1.68	1.73	1.66	1.65	1.655?	1.66	1.29	1.30								
Bi	Po	Suprajod	Ra-Em.	Supracaes.	Ra	Ac	Th	Bv	U								

In Tabelle 3 habe ich diese q-Werte, wie ich sie kurz bezeichne, für sämtliche Elemente des He- und des Fe-Systems zusammengestellt, und man gelangt durch das vergleichende Studium der-

[1] Einige Betrachtungen über das periodische Gesetz der Elemente, S. 8 Leipzig 1903.

[2] *An Attempt towards a chemical conception of the Ether.* Translated from the Russian by GEORGE KAMENSKY, London 1904, S. 27f. Vgl. auch C. SCHMIDT, Das periodische System, S. 54.

selben zu Ergebnissen, die auf die dunkle Genesis der Elemente einiges Licht zu werfen geeignet sein dürften.

In der ersten Horizontalreihe des He-Systems nehmen mit wachsenden Atomgewichten die q-Werte beständig und ziemlich rasch ab, ohne daß es mir aber gelungen wäre, eine gesetzmäßige Beziehung unter diesen Zahlen zu finden. In den anderen Reihen ist eine solche Regelmäßigkeit nicht mehr vorhanden; dafür aber lassen die Quotienten bei abnehmender Größe in den tieferen Horizontalreihen die deutliche Neigung erkennen, für jede Reihe einen konstanten Wert anzunehmen.

So liegen in der letzten Quotientenreihe des He-Systems die q-Werte zwischen den verhältnismäßig engen Grenzen 1.73 und 1.65; auch für die von E. Baur[1] mit Hilfe der logarithmischen Atomvolumkurve berechneten Atomgewichte des Suprajods (213) und des Supracaesiums (220) fallen die q-Werte 1.68 bzw. 1.66 in diese Grenzen. Man kann daher für das Aktinium, dessen Abstammung und daher auch dessen Atomgewicht noch immer problematisch sind, mit ziemlicher Sicherheit den q-Wert 1.655 (das Mittel aus den beiden Nachbarwerten) annehmen und erhält dann Ac = 230. Dieses Ergebnis stimmt auffällig überein mit der von G. N. Antonoff[2] vertretenen Anschauung, daß die Aktiniumreihe von dem mit UrX_1 isotopen UrY abzweigt. Betrachtet man also UrY als den Stammvater des Aktiniums, so muß, wenn letzterem das Atomgewicht 230, also ein um zwei α-Teilchen kleineres Atomgewicht als dem Uran zukommt, UrY unmittelbar aus Uran bei einer abzweigenden α-Strahlenumwandlung entstehen, worauf dann beim Übergang aus der Mendelejeffschen Gruppe IVa (UrY) in die Gruppe IIIa (Ac) wiederum ein α-Teilchen, außerdem aber auch ein β-Teilchen ausgeschleudert werden müssen. Die Richtigkeit dieser Hypothese über die Abstammung des Ac wäre sofort auch experimentell erwiesen, sobald es gelänge, diese letztere α-Strahlung einwandfrei nachzuweisen.

Im Fe-System sind die Quotienten regelmäßig genug, um für die Homologa des Mangans, das Eka-, Dwi- und Trimangan, die Annahme der q-Werte 1.82; 1.90, 1.30 gerechtfertigt erscheinen zu lassen, worauf man für die Atomgewichte dieser Elemente die in Tabelle 4 verzeichneten Werte erhält, die sich recht befriedigend

[1] l. c.

[2] *Phil. Mag.* 22 (1911), 431; Soddy, Chemie der Radioelemente, II. T., 1914, S. 60.

in die Atomgewichtsreihenfolge einordnen, wie die Tabelle ebenfalls zeigt, in der gleichzeitig unter δ die Atomgewichtsdifferenzen der Reihenelemente, unter Δ die der Gruppenelemente angegeben sind.

Tabelle 4.

Die Homologa des Mangans.

		δ		δ		δ	
	V (51)	1	Cr (52)	2.93	Mn (54.93)	0.91 oder 1.65 %	Fe (55.84)
Δ	42.5		44		45.07		45.86
q	1.83		1.85		1.82		1.82
	Nb (93.5)	2.5	Mo (96)	4	Eka-Mn (100)	1.7 oder 1.7 %	Ru (101.7)
Δ	88		88		90		89.2
q	1.94		1.92		1.90		1.88
	Ta (181.5)	2.5	W (184)	6	Dwi-Mn (190)	0.9 oder 0.47 %	Os (190.9)
Δ	53		54.5		57		57.3
q	1.29		1.30		1.30		1.30
	Bv (234.5)	4	U (238.5)	8.5	Tri-Mn (247)	1.2 oder 0.49 %	Eka-Os (248.2)

Weitere Betrachtungen über die q-Werte sollen im Zusammenhange mit der Behandlung eines umfassenderen und bedeutungsvolleren Problems angestellt werden, das trotz seines Fundamentalcharakters in der Geschichte des periodischen Systems hinter den mehr formalen Bestrebungen nach zweckmäßigerer Anordnung der Elemente bisher fast ganz zurückgetreten ist, nämlich im Zusammenhange mit der Frage nach der Erklärung des periodischen Gesetzes oder nach der Ursache der Periodizität.

In seiner Abhandlung „Die periodische Gesetzmäßigkeit der chemischen Elemente" (1871) bemerkt Mendelejeff[1]: „Ich werde weder hier noch weiter Hypothesen zur Erklärung des Wesens des periodischen Gesetzes — obgleich ich weiß, daß zum vollen Verständnis eines Gegenstandes man außer Beobachtungen (sowie Experimenten) und Gesetzen (sowie Systemen) auch deren Deutung besitzen muß — aufstellen; denn erstens ist das Gesetz an und für sich ein zu einfaches; zweitens ist dieser neue Gegenstand zu wenig in seinen einzelnen Teilen ausgearbeitet, als daß man eine Hypothese aufstellen könnte; der wichtigste Grund ist der dritte, nämlich, daß man das periodische Gesetz nicht mit der Atomlehre in Einklang bringen kann, ohne die bekannten Fakta über die am genauesten beobachteten Größen der Atomgewichte zu verkehren." Dieser Standpunkt eines so spekulativ veranlagten Forschers, wie es Mendelejeff unzweifelhaft war, wird nicht mehr befremden, wenn man bedenkt, daß Mendelejeff, „*so long as the law remained*

[1] Ostwalds Klassiker 68, 64.

unconfirmed"[1], mit vollem Recht seine eigentliche Aufgabe zunächst darin sehen mußte, das System nach allen Richtungen hin auszubauen und zu festigen und die Anwendbarkeit des periodischen Gesetzes in der chemischen Wirklichkeit zu beweisen. Diese Aufgabe aber war groß genug, um allein ein Menschenleben auszufüllen.

Beim Studium der Literatur über das periodische System kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, als ob man fast allgemein, wenn auch zumeist stillschweigend angenommen hat, aus dem periodischen System die Folgerung ziehen zu müssen, daß sich die Elemente in der Reihenfolge ihrer wachsenden Atomgewichte aus- oder wenigstens nacheinander entwickelt haben. Namentlich begegnet man dieser Vorstellung bei der graphischen Darstellung des periodischen Systems in Gestalt der verschiedenen ebenen oder räumlichen Spiralen bis zur „modernisierten Achterfigur" SODDYS.[2] Eine solche Annahme aber setzt zur Erklärung der periodischen Entstehung analoger Elemente notwendigerweise auch die periodische Wiederkehr analoger stöchiogener Bedingungen voraus, weshalb denn auch Sir WILLIAM CROOKES das Walten der stöchiogenen Energie ganz folgerichtig mit den Schwingungen eines Pendels verglichen hat, während aber im Gegenteil in der kosmischen Entwicklung sich lediglich ein geradlinig verlaufender Energieabfall nachweisen läßt. Der hier offenbar vorhandene Widerspruch wird nicht nur beseitigt, sondern es eröffnet sich gleichzeitig auch die Möglichkeit einer plausiblen Erklärung des periodischen Gesetzes, wenn man zur Begründung einer rationellen genetischen Theorie der Elemente

---

[1] *A chemical conception etc.*, S. 16.

[2] Die Chemie der Radioelemente, 1914, II. T., S. 21. Wenn ich auch MENDELEJEFFS Bedenken gegen die Darstellung des periodischen Systems durch geometrische Figuren völlig teile, indem das periodische Gesetz keine stetige Funktion, sondern eine sprunghafte Änderung der Eigenschaften der Elemente ausdrückt, während eine Kurve immer etwas Kontinuierliches darstellt und daher auch nicht die Existenz einer begrenzten Anzahl von Elementen in jeder Periode als notwendig erscheinen läßt, so kann ich mir doch andererseits keine bessere Veranschaulichung meiner Systematik denken als das SODDYsche Schema, in dem sich die von mir aufgestellten Partialsysteme auch hinsichtlich ihres Charakters mit vollkommener Deutlichkeit ausprägen. Wenn daher SODDY (l. c., S. 23) bemerkt: „Jede Theorie der Natur der Elemente, die diese scharf ausgeprägten charakteristischen Eigentümlichkeiten nicht zu erklären vermag, ist in der Chemie nicht viel nütze, und bisher ist noch zu keiner solchen Theorie der Versuch gemacht worden", so darf ich mir wohl gestatten, auf meine Systematik zu verweisen, in der „der Versuch zu einer solchen Theorie gemacht worden ist".

von den beiden folgenden sehr einfachen und mit keiner Erfahrungstatsache in Widerspruch stehenden Prinzipien ausgeht:

I. Ontogenetisches Prinzip oder Prinzip der Serienbildung typischer Kondensationsformen: Unter bestimmten kosmischen Bedingungen entsteht durch einen Kondensationsprozeß unmittelbar aus dem Protyl die hinsichtlich ihres chemischen Charakters jeweils größtmögliche Mannigfaltigkeit typischer Elementarformen.

II. Phylogenetisches Prinzip oder Prinzip der Gruppenentwicklung durch Integration: Solange die kosmischen Bedingungen keine wesentliche Änderung erfahren, kommt es zu keiner weiteren Kondensation aus dem Protyl, sondern es bilden sich aus den primären Elementen durch einen Evolutionsprozeß, der allgemein als Integration[1] bezeichnet werden soll, neue Formen, die die typischen, ursprünglich vielfach noch nicht völlig differenzierten Eigenschaften ihrer Vorfahren[2] zur Ausbildung bringen und vorwiegend in der Richtung weiter entwickeln, daß die metallischen Charakterzüge verschärft, die metalloiden Charaktere dagegen abgeschwächt werden.

Um über einen kurzen und mit der üblichen Tabellenform des periodischen Systems konformen Ausdruck zu verfügen, möge die unmittelbare Kondensation der primären Elemente aus dem Urstoff für jedes Partialsystem als Serienentwicklung, der von dem einzelnen Primärelement und jedem seiner Epigonen ausgehende Integrationsprozeß als Gruppenentwicklung bezeichnet werden.

[1] Da sich mit einem Begriffe, wie Polymerisation, bestimmte chemische Vorstellungen verknüpfen, von denen die hier dargelegte Theorie unabhängig ist und in Anbetracht der noch immer recht vagen Ideen über das innere Wesen des Stoffes auch freigehalten werden muß, so gestatte ich mir, für jene Gruppenentwicklung den allgemeinen, namentlich von H. Spencer bei seinen Spekulationen über biologische Evolution mit Vorliebe gebrauchten Begriff Integration einzuführen, der zugleich den Gegensatz zu der bei den radioaktiven Umwandlungen stattfindenden Desintegration der Materie hervorhebt.

[2] Hieraus, nämlich aus der noch unvollständigen Differenzierung der Eigenschaften der bereits von Mendelejeff als typisch bezeichneten Elemente erklärt es sich, daß diese Elemente „eine ausgesprochene Neigung zeigen, mit ihren Eigenschaften in die nächste Gruppe hinüberzugreifen" (Ostwald, Grundr. d. allg. Chemie 1890, S. 186), und daß sich daher der Typus oder Charakter der Familien in diesen Elementen weniger deutlich ausprägt als bei den Elementen der folgenden Reihe (Seubert, Ostw. Klass. 68, 131). Durch diese Auffassung rechtfertigt es sich aber auch gleichzeitig, wenn der Begriff der typischen Elemente hier nicht nur beibehalten, sondern folgerichtig auf die Primärserie jedes Partialsystems ausgedehnt wird.

Das periodische Gesetz oder die Ursache der Periodizität der Elemente erklärt sich dann einfach dadurch, daß infolge des Integrationsprozesses gleichzeitig Gruppen homologer und sekundäre Horizontalreihen oder Perioden heterologer Elemente entstehen, und daß die Gesamtheit dieser Gruppen und Reihen dann ein Partialsystem bildet.

Von den Elementen jeder Horizontalreihe kann man sagen, daß sie in gleichem Entwicklungsniveau liegen, obwohl dieses Niveau von den einzelnen Gliedern der Reihe keineswegs zu gleicher Zeit erreicht zu werden braucht.

Wenn der Theorie gemäß der Entwicklungsprozeß innerhalb einer Gruppe sich unabhängig von den Nachbargruppen vollzieht, so darf man doch daraus keineswegs schließen, daß die heterologen Elemente und insbesondere die Primärelemente, wie es Sir NORMAN LOCKYER[1] im Anschluß an JOHN HERSCHEL bezeichnend ausdrückt, gewissermaßen als „*special creations, each without any relation whatever to the other*“ betrachtet werden dürfen; vielmehr wird der innere Zusammenhang, in dem alle Elemente eines Partialsystems untereinander stehen, durch jene Primärserie typischer Kondensationsformen vermittelt, von denen die einzelnen Gruppen ihren Ursprung nehmen. Die Entstehung und das Wesen der Primärelemente aber vermag ich nicht treffender und mit der hier vertretenen Theorie konformer zu kennzeichnen, als mit den folgenden Worten MARCELLIN BERTHELOTS[2], die zugleich das Fehlen einfacher zahlenmäßiger Beziehungen zwischen den Elementen einer solchen Serie erklären: „Möglicherweise sind die Gleichgewichtszustände der Ursubstanz nicht entstanden durch Verbindung identischer Elemente, sondern ungleich kondensierter Elemente. Es ist also mit einem Worte nicht notwendig, daß alle diese Molekulargebilde ganze Vielfache einer kleinen Zahl von elementaren Gewichtseinheiten darstellen. Man kann ebenso gut annehmen, daß diese Gebilde in gegenseitiger Beziehung auf ein Entstehungsverhältnis anderer Art hinweisen, wie z. B. die zwischen geometrischen Symbolen der verschiedenen Unbekannten einer Gleichung oder allgemeiner zwischen den vielfachen Werten einer und derselben durch die mathematische Analyse bestimmten Funktion bestehenden Beziehungen. Die Ursubstanz würde also die Entstehungsfunktion darstellen, und die Elemente wären die bestimmten Werte davon.“

[1] Inorganic Evolution, London 1900, S. 165.

[2] *Les origines de l'Alchimie.* Paris 1885. S. 288.

Es braucht wohl kaum besonders bemerkt zu werden, daß lediglich die zweite. Annahme BERTHELOTS für die hier vertretene Theorie in Betracht kommt.

Die Gruppenentwicklung nimmt ihren ungestörten Fortgang, auch wenn es infolge der im Laufe der Zeit eintretenden Veränderungen der kosmischen Bedingungen zu einer erneuten unmittelbaren Kondensation aus dem Protyl, also zu abermaliger Entstehung einer Primärserie typischer Elemente für ein neues Partialsystem kommt, dessen weiterer Aufbau dann gleichsam in einer zu der des früheren Systems parallelen Entwicklungsebene genau in der Weise erfolgt, wie es oben geschildert worden ist. Die Entstehungsfunktion für die Primärelemente ist zwar eine andere geworden, und demgemäß haben sich auch die „Werte" geändert, die sie liefert, aber die Gleichheit der kosmischen Bedingungen, unter denen die neue Primärserie und die mit ihr auf gleichem Niveau liegende Sekundärserie des vorangegangenen Systems entstehen, wird sich in gewissen verwandtschaftlichen Zügen der analogen Glieder beider Reihen ausdrücken, wie man dies in der Tat bei den niveau-homologen Reihen des He- und des Fe-Systems beobachtet.

Die hier dargelegte Theorie erklärt nicht nur auf sehr einfache Weise die mit der oben erwähnten Pendelhypothese des periodischen Systems in unlösbarem Widerspruch stehende Anomalie des Ar, Ni und Te, sondern läßt sogar eine derartige Erscheinung, die den Charakter der Anomalie völlig verliert und gewissermaßen eine indirekte Bestätigung der Theorie liefert, von vornherein erwarten. Denn da im Sinne der hier vertretenen Auffassung sich jedes Element irgendeiner Gruppe auch in bezug auf das Atomgewicht unabhängig von den Homologen der Nachbargruppen entwickelt, so muß man sich eigentlich wundern, daß die Aufeinanderfolge der Reihenglieder nicht noch häufiger als in den drei Fällen eine solche scheinbare Anomalie aufweist.

Es ist vielleicht nicht uninteressant zu bemerken, daß sich insbesondere für Te der Ursprung der Anomalie phylogenetisch rückwärts bis S verfolgen und vielleicht mit der dort wenigstens in ihren ersten Anfängen einsetzenden Umwandlung des metalloiden Charakters der Gruppe in den metallischen erklären läßt. Bei Betrachtung der q-Werte bemerkt man nämlich sofort, daß der Quotient $Se : S = 2.47$ der größte in der ganzen Reihe ist, was stöchiogenetisch bedeutet, daß die Transmutation von S in Se eine weitergehende Integration erfordert, als sie bei den anderen homologen Elementen

der beiden in Betracht kommenden Reihen notwendig ist. Beim Herabsinken auf das folgende Entwicklungsniveau schwanken die q-Werte innerhalb wesentlich engerer Grenzen, aber wiederum treten die größten Werte zwischen den drei Elementenpaaren As → Sb, Se → Te, Br → J auf, bei denen die Umwandlung metalloider in metallische Charaktere ihren Fortgang nimmt. Da aber der Quotient Te : Se sich nur wenig über das Reihenmittel erhebt, so muß man in der Tat die eigentliche Ursache für die Telluranomalie bereits in dem stöchiogenen Prozesse beim Übergange von S in Se suchen, wenn auch das Atomgewicht des Selens noch nicht so groß wird, daß die Atomgewichtsreihenfolge bereits dort eine Störung erfährt.

Ähnliche Betrachtungen lassen sich auch für die Argonanomalie anstellen.

Die Anomalie des einer Primärserie angehörenden Ni aber muß unter dem besonderen Gesichtspunkte betrachtet werden, daß man die Primärelemente nach ihren sich abstufenden chemischen Eigenschaften anzuordnen pflegt, wodurch letzten Endes das Schema für das ganze nachfolgende System a priori festgelegt wird.

Die hier dargelegte Theorie wirft auch Licht auf das bisher rätselhafte triadenweise Auftreten von Elementen im Fe-System, insofern sie nicht nur die Wiederholung der Triaden in der 2. und 3. Reihe des Systems durch die Gruppenentwicklung ebenso einfach wie natürlich erklärt, sondern gleichzeitig nach demselben Prinzip auch die Analogie der jeder Untergruppe einer Triade angehörenden Elemente als notwendig und selbstverständlich erscheinen läßt, während die Pendulationshypothese sogar die Wiederkehr ganz gleicher Perturbationen im stöchiogenen Prozesse voraussetzen müßte, auf die man ja gemeiniglich die Entstehung der Triaden zurückzuführen pflegt.

Wenn die Entwicklung der Elemente im Sinne der dargelegten Theorie verläuft, so muß dies auch im natürlichen Vorkommen und in der relativen Häufigkeit der Elemente zum Ausdruck gelangen. Wiederholt schon ist auf die merkwürdige Tatsache hingewiesen worden, daß verwandte Elemente in der Natur gemeinsam auftreten. So bemerkt z. B. J. Traube[1]: „Wer würde an ein Spiel des Zufalls glauben, wenn er hört, daß auch verwandte Elemente sich gewöhnlich an demselben Fundorte vorfinden. Wo

[1] Grundriß der physik. Chemie (1904), S. 53.

Kobalt ist, da findet man auch Nickel; Antimon ist der Begleiter von Arsen, Niob von Tantal; Platin kommt nur vor neben den anderen Elementen seiner Gruppe, und Praseodym und Neodym finden sich stets so vergesellschaftet, daß man dieselben erst spät voneinander zu unterscheiden lernte.“ Wäre es nicht überflüssig, hier die Zahl dieser Beispiele vermehren zu wollen, so könnte u. a. noch auf die enge Vergesellschaftung von Cd mit Zn in einem so konstanten Mengenverhältnis (durchschnittlich 1 : 201) hingewiesen werden, daß George Steiger und F. W. Clarke[1] daraus den Schluß ziehen konnten, daß Zn ungefähr 200mal so häufig auf der Erde vorhanden ist als Cd, und daß, da der Zinkprozentgehalt in der Erdkruste zu 0.004 bestimmt worden war, der Cadmiumgehalt 0.0002% betragen muß. Es genügt, festzustellen, daß diese Tatsachen in völligem Einklang mit der dargelegten Evolutionstheorie stehen, aus der sie mit Notwendigkeit gefolgert werden müssen, sobald man zugibt, daß jedes Element die Geburtsstätte seines höheren Homologon ist.

Was die relative Häufigkeit der Elemente in der Natur anlangt, so wird, da die Kondensation der Primärelemente als ein einmaliger Vorgang aufgefaßt wird, sich offenbar bei dem nachfolgenden Integrationsprozeß der Materie zwischen den aufeinander folgenden Gliedern einer natürlichen Familie nicht ein ähnlicher Gleichgewichtszustand herstellen können wie in den radioaktiven Umwandlungsreihen. Es wird aber auch das Mengenverhältnis der Glieder einer natürlichen Gruppe offenbar nicht nur vom Alter, sondern auch von der individuell, durch innere Ursachen bedingten Umwandlungsgeschwindigkeit abhängen, so daß die ältesten Elemente nicht notwendig auch die seltensten oder gar schon verschwunden sein müssen; denn jedenfalls wird, wie man auf Grund der Erfahrung bei den an der Stabilitätsgrenze liegenden Radioelementen a priori folgern kann und wofür die stellarspektroskopischen Untersuchungen den direkten Beweis liefern, der reziproke Wert der Integrationskonstanten nicht nur nach geologischen, sondern nach kosmischen Zeiten zu messen sein.

Untersuchungen über die relative Häufigkeit der Elemente sind daher für die Entwicklungstheorie von größter Bedeutung, da sie allein imstande sind, Kriterien zu liefern für die Lebensdauer der Elemente und Aufschluß zu geben über den Verlauf des Integrationsprozesses.

[1] Bulletins 419 und 491 der U. S. Geological Survey.

F. W. Clarkes[1] Untersuchungen über „*the relative abundance of the chemical elements*", die in der richtigen Erwägung unternommen wurden, daß „*in any thorough discussion of their nature and relations this comparative abundance or scarcity should be taken into account*", haben bekanntlich zu dem Ergebnis geführt, daß die Erdkruste zu 98% aus 9 Elementen zusammengesetzt ist, deren Atomgewicht das des Eisens nicht übersteigt, nämlich aus O (49.98%), Si (25.30), Al (7.26), Fe (5.08), Ca (3.51), Mg (2.50), Na (2.28), K (2.23), H (0.94), daß ferner mehr als 50 Elemente kaum 1% ausmachen und keines von ihnen mehr als 0.05% betragen kann. Da die naheliegende Annahme, daß die Elemente mit höherem Atomgewicht im Innern des Planeten konzentriert seien, wie Clarke nachweist, nicht in Betracht kommen kann, so muß er bekennen: „*On thé theoretical side the results attained are not to interpret. That nine of the chemical elements should constitute, at the lowest estimate, 98 percent of all known terrestrial matter is somewhat startling and difficult to comprehend.*"

Der Versuch Clarkes, durch graphische Darstellung der relativen Häufigkeit der Elemente, wobei die Atomgewichte als Abszissen genommen wurden, irgendeine Art von Periodizität nachzuweisen, führte zu keinem Ergebnis. Wenn also in dieser Hinsicht „*no definite connection with the periodic law seemed to be traceable*", so wurden doch gewisse andere Regelmäßigkeiten aufgefunden, die, weil sie für das Folgende von Wichtigkeit sind, hier mit des Autors eigenen Worten wiedergegeben werden sollen: „*All of the abundant elements are low in the scale of atomic weights, reaching a maximum at 56 in iron. Above 56 the elements are comparatively rare, and only two of them, barium and strontium, appear in my estimates. Below oxygen, hydrogen alone approaches one percent, while between oxygen and iron only scandium and vanadium are of neglectable rarity. Furthermore, in several elementary groups abundance diminishes with increase of atomic weight. This is plainly seen in the series potassium, rubidium, and caesium; in sulphur, selenium, and tellurium; in chlorine, bromine, and iodine; in arsenic, antimony, bismuth etc. etc. The regularity is not certainly invariable, but it occurs often enough to be suggestive.*"

Die einzige Möglichkeit, eine Erklärung für die von ihm nachgewiesene relative Häufigkeit der Elemente zu finden, sah Clarke schon damals in der Evolutionshypothese. Er bemerkt (l. c., p. 34):

[1] *Chemical News* **61** (1890), 31—34.

„If, despite MENDEEJEFFS *recent demurrer, we assume that the elements have been evolved from one primordial form of matter, their relative abundance becomes suggestive. Starting from the original ‚protyle', as* CROOKES *has called it, the process of evolution seems to have gone on slowly until oxygen was reached. At that point the process exhibited its maximum energy, and beyond it the elements forming stable oxides were the most rapidly developed, and in the largest amounts. On this supposition the scarcity of the elements above iron becomes somewhat intelligible; but the theory does not account for everything, and is to be regarded as merely tentative. It is legitimate only so long as its purely speculative charakter is kept clearly in view. If, however, the evolution of the elements is admitted, it is clear that the later stages of the process must have been seriously conditioned by the chemical affinities developed at first.“*

Die von CLARKE vermißte *„definite connection with the periodic law“* bildet den Gegenstand einer Untersuchung JOHN WADDELLS[1] über „Die Stellung der häufig vorkommenden Elemente im periodischen System“. Nach WADDELL besteht eine solche Beziehung zwischen den Atomgewichten der Elemente und dem Betrage, in dem sie in der Erdkruste vorhanden sind, daß, abgesehen von Sauerstoff und Argon, die Ausnahmen bilden, im allgemeinen das erste Element einer jeden Gruppe nur in geringer Menge in der Erdkruste vorkommt, daß dann Elemente mit größerer Verbreitung folgen und an sehr weit verbreitete Elemente wieder solche mit abnehmender Häufigkeit sich anschließen.

Nach der von mir aufgestellten Entwicklungstheorie sind die Ergebnisse CLARKES und WADDELLS ungezwungen auch *„on the theoretical side“* zu erklären, ja bilden sogar eine schöne Bestätigung meiner Anschauungen. Denn wenn die Primärelemente als Produkte eines einmaligen Kondensationsprozesses das Bildungsmaterial für die in ihnen einsetzende Gruppenentwicklung liefern, so muß ihre relative Häufigkeit offenbar in demselben Maße abnehmen, wie die der Epigonen anwächst, und allgemein muß aus gleichem Grunde in Übereinstimmung mit WADDELLS Ergebnis jedes Element, bei dem der Integrationsprozeß einen Höhepunkt erreicht hat, in der zugehörigen Gruppe gewissermaßen einen Markstein bilden, vor und nach dem die Elemente durch Spärlichkeit ihres Vorkommens charakterisiert sind, die einen, weil der Integrationsprozeß bereits über sie hinweg geschritten ist, die anderen, weil er bei ihnen erst

[1] *Chem. News* **113** (1914), 289—291.

einzusetzen begonnen hat. Solche Marksteine bilden die neun Elemente CLARKES, die sich durch ihre relative Häufigkeit auszeichnen.

So finden auch die oben erwähnten, von CLARKE bei einigen natürlichen Familien nachgewiesenen „*regularithies*" nach dem Prinzip der Gruppenentwicklung ihre einfache Erklärung, indem mit sinkendem Entwicklungsniveau, also steigendem Atomgewicht die relative Häufigkeit im allgemeinen abnehmen muß.

Es verschwindet auch die zwischen CLARKES und WADDELLS Ergebnissen bestehende einzige, aber gerade darum besonders auffällige Unstimmigkeit in bezug auf Sauerstoff sofort, wenn man die von mir vorgeschlagene Anordnung der Elemente zugrunde legt, weil dann Sauerstoff ebenfalls als zweites Glied einer Gruppe erscheint, also ein Primärelement als Stammvater besitzt. Der unmittelbare Vorfahre des Sauerstoffs ist das Element X_2 (Ekasauerstoff), eines jener Nebelgase, die im frühesten Stadium kosmischer Entwicklung unermeßliche Räume in ungeheuren Massen erfüllen. Da jenes Nebelgas sich nach NICHOLSON nur noch in der Sonnenkorona spektroskopisch nachweisen läßt, sonst aber aus dem Sonnensysteme verschwunden ist, so muß seine fast vollständige Umwandlung in Sauerstoff gefolgert werden, und zwar erscheinen nach LOCKYER[1] die Sauerstofflinien bereits auf der Alnitamianstufe, also in einem sehr frühen Stadium der stellaren Entwicklung. Andererseits verlangt die Integrationshypothese zur Erklärung des von CLARKE gefundenen sehr hohen relativen Häufigkeitswertes des Sauerstoffs, daß das Element eine sehr geringe Umwandlungsgeschwindigkeit, also eine sehr große mittlere Lebensdauer besitzen muß. Der unmittelbare Epigone des Sauerstoffs ist der Schwefel, für den CLARKE in der Tat einen so niedrigen relativen Häufigkeitswert (0.04%) ermittelte, daß er meinte, ihn für zu klein halten zu müssen, und ausdrücklich bemerkt: „— *the comparative rarity of carbon and sulphur is to say the least surprising*" (l. c., p. 33). Nach dem Prinzip der Gruppenentwicklung stehen jedoch die drei Tatsachen des fast völligen Verschwindens des Nebelgases Eo aus dem Sonnensystem, des ungemein hohen relativen Häufigkeitswertes des Sauerstoffs und der außerordentlich niedrigen relativen Häufigkeitsziffer des Schwefels in engstem genetischen Zusammenhange, ebenso wie die relative Seltenheit des Kohlenstoffs der relativen Häufigkeit des Siliciums entspricht, das in CLARKES Tabelle die zweithöchste Häufigkeitsziffer aufweist.

[1] Inorganic Evolution, Chap. VI, London 1900.

Da die nach CLARKES Untersuchungen relativ häufigsten Elemente im He-System auf die 2. und 3. Reihe, im Fe-System sogar nur auf die Primärserie sich beschränken, so kann man daraus folgern, daß der Integrationsprozeß im Sonnensystem sich in einem verhältnismäßig noch nicht allzu weit vorgeschrittenen Stadium befindet, die Elementarsysteme der terrestrischen Chemie also noch verhältnismäßig jugendlichen Alters sind, womit im Einklang steht, daß diese Systeme überhaupt noch nicht völlig ausgebildet sind, sondern noch leere oder von radioaktiven Elementen (s. u.) besetzte Stellen aufweisen. Wie weit der Integrationsprozeß aber fortschreiten wird, d. h. wieviele Perioden im Laufe der Zeit sich noch an die Systeme anreihen werden, läßt sich a priori nicht beantworten, da hierfür makro- wie mikrokosmische Bedingungen maßgebend sind, über die uns jegliche Kenntnis fehlt.

Hinsichtlich der relativen Häufigkeit seiner Glieder befindet sich das periodische System nach CLARKES Evolutionshypothese in stationärem Zustande, nach der von mir vertretenen Theorie — in größerer Übereinstimmung mit dem Entwicklungsbegriffe — in beständigem Fluß. CLARKES Hypothese ist daher unvereinbar mit dem gesicherten Ergebnisse der Sternspektroskopie, daß Elemente, die in frühen Stadien kosmischer Entwicklung in überwiegender Menge auftreten, wie H, Nu, He, in späteren Stadien seltener werden oder gänzlich verschwinden.

Man darf selbstverständlich nicht annehmen, daß die Elemente einer Primärserie sämtlich zu gleicher Zeit und in gleicher Menge kondensiert worden sind, vielmehr wird der Wert der BERTHELOTschen Funktion in erster Linie von der Stabilitätsmöglichkeit eines jeden Primärelements unter den herrschenden kosmischen Bedingungen abhängig sein müssen. So hat H. M. VERNON[1] darauf hingewiesen, daß in der Sonnenatmosphäre „*almost all the most positive elements are present, but that as the elements become more and more negative, fewer and fewer appear capable of existing in the sun's photosphere*", und er schließt daraus, „*that as we pass from positive to negative elements the stability of the elements with regard to heat decreases proportionately as their negativity increases*".

Hier bietet sich auch Gelegenheit, auf die von verschiedenen

[1] *Chemical News* **61** (1890), 51—52. Zur Frage nach dem stöchiogenen Faktor, den man jedenfalls nicht in der Wärme, sondern vielmehr in der elektrischen Energie zu suchen hat, vgl. C. SCHMIDT, Das periodische System, S. 121.

Astrophysikern konstatierten Unstimmigkeiten einzugehen, die zwischen dem periodischen System und den Ergebnissen der Sternspektroskopie hinsichtlich des kosmischen Auftretens der Elemente bestehen sollen. So bemerkt LOCKYER[1]: „*The magnesium, and I will now add calcium, which the chemist studies at relatively low temperatures have atomic weights of 24 and 40 respectively, and the stellar evidence would be in harmony with the periodic law if magnesium (24) made its appearance after sodium (23), and calcium after chlorine (36), and generally each substance should make its appearance after all other substances of lower atomic weight than itself. But, and again for the sake of simplicity I shall confine myself to magnesium and calcium for the moment, in the stars we find lines in the high temperature spectrum of magnesium and calcium appearing before known lines in the spectrum of oxygen which has an atomic weight of 16. How are these results to be reconciled?*“

LOCKYER hat für diese Tatsache eine zwar wie immer geistvoll ersonnene, aber doch recht gekünstelte und nichts weniger als befriedigende Erklärung auf Grund seiner Dissoziationshypothese versucht, indem er von der Annahme ausgeht, „*that the substances revealed by the enhanced lines of magnesium and calcium and noted in the hottest stars have lower atomic weights (smaller masses) than the oxygen of the periodic table*“. Wie man sofort bemerkt, sind diese „*discrepancies*“ letzten Grundes wiederum auf die schon oben als unzulässig bezeichnete, weil keineswegs im Wesen des periodischen Systems liegende Annahme zurückzuführen, daß das periodische Gesetz die Entwicklung der Elemente in der Reihenfolge ihrer Atomgewichte involviert. Läßt man diese unbegründete Voraussetzung fallen und nimmt man im Sinne der Integrationshypothese an, daß der Entwicklungsprozeß in jeder Gruppe unabhängig von dem in den anderen Gruppen verläuft, so verschwinden auch sofort alle Unstimmigkeiten zwischen dem periodischen System und den Tatsachen der Sternspektroskopie. Denn dann hängt das frühere oder spätere Erscheinen eines Elementes in den Sternatmosphären lediglich von der größeren oder geringeren Integrationsfähigkeit seines Vorfahren ab, und dann wird es ohne weiteres begreiflich und steht auch im Einklang mit den entwicklungsgeschichtlichen Betrachtungen über Sauerstoff, wenn in der Erdalkaligruppe das Niveau des Magnesiums und Calciums früher erreicht wird, als in der Eo-Gruppe das des Sauerstoffs und seines Epigonen.

[1] l. c., S. 177.

Eine vollständige Entwicklungstheorie der Elemente muß auch die radioaktiven Erscheinungen umfassen. Nimmt man nach der von Sir J. J. THOMSON aufgestellten Theorie als Ursache für den Zerfall radioaktiver Atome den Energieverlust derselben durch elektromagnetische Strahlung an — weshalb man ja auch mit Vorliebe das radioaktive Atom mit einem ablaufenden Uhrwerk vergleicht —, so bleibt es unerklärt oder vermag wenigstens nicht einwandfrei erklärt zu werden, warum jene Erschöpfung der atomaren Energie nur bei den am Ende des periodischen Systems stehenden Elementen, also gerade bei den jüngsten, nicht aber, wie man nach logischen und physikalischen Prinzipien erwarten müßte, bei den ältesten Produkten des stöchiogenen Prozesses sich geltend macht, da doch im allgemeinen die Stabilität eines Systems nicht von seiner Masse, sondern von der mechanisch zweckmäßigen Anordnung der Massenteile abhängt.

Die neuerdings auf Grundlage der Radioaktivität aufgestellte entwicklungsgeschichtliche Hypothese[1], nach der sämtliche Elemente durch den radioaktiven Zerfall einiger weniger Elemente von hohem Atomgewicht entstanden sein sollen, steht, abgesehen von manchen anderen Gegengründen, in schroffem Widerspruch mit den gesicherten Ergebnissen der Astrospektroskopie, nach denen auch in der anorganischen Entwicklung „*the simplest elements appear first*“, oder wie LOCKYER[2] ausführlicher darlegt: „— *it is certain that the first stage of inorganic evolution, if there has been such an evolution, is certainly a stage of simplest forms as in organic evolution, whatever view we take of the nature of the ‚atom‘* “.

Ich halte es überhaupt schon in Anbetracht der wesentlich verschiedenen physikalischen Bedingungen, unter denen sich der Integrationsprozeß der Materie und der radioaktive Zerfall derselben vollziehen, keineswegs a priori für berechtigt, aus dem letzteren auf den entwicklungsgeschichtlichen Aufbau der Atome zu schließen, d. h. den einen Vorgang nur als die Umkehrung des anderen zu betrachten. Daher bin ich auch der Meinung, daß das α-Teilchen nicht als He-Atom in dem radioaktiven Atom präexistiert, sondern aus der Kernmasse allmählich gebildet und erst dann abgeschleudert wird, so daß unter anderen physikalischen Bedingungen der radioaktive Zerfall sich vielleicht unter Ausstoßung von H- oder Nu-Atomen vollziehen würde.

[1] Vgl. z. B. TH. WULF in *Physik. Zeitschr.* **12** (1911), 497—500.

[2] l. c., S. 162.

Ich glaube mich mit dieser Auffassung in Übereinstimmung mit MARCELLIN BERTHELOT[1] zu befinden, der sich bereits 1885, also länger als ein Dezennium vor Entdeckung der Radioaktivität im Anschluß an seine oben erwähnte stöchiogenetische Hypothese in den folgenden, ein typisches Beispiel genialer Intuition darstellenden Ausführungen über den Zerfall der Elemente geäußert hat: „Nach dieser Hypothese, die verständlicher ist als die gewöhnlichen Hypothesen über die Konstitution der Materie, könnte ein als einfach geltender Körper zerstört, aber nicht zerlegt werden in der gewöhnlichen Bedeutung dieses Wortes. Der einfache Körper würde im Moment seiner Zerstörung sich plötzlich in einen oder mehrere einfache Körper verwandeln, die mit den gegenwärtigen Elementen identisch oder ihnen analog wären ..... Außerdem könnte man, wenn man unter verschiedenen Bedingungen experimentiert, bald zu dem einen, bald zu dem anderen System von Elementen, entstanden durch die Umwandlung desselben Elementes gelangen; bei all den Umwandlungen würde nur das absolute Gewicht konstant bleiben".

Die auf Grundlage der hier vertretenen Entwicklungstheorie im folgenden allerdings zunächst nur umrißweise entworfene Hypothese versucht den Radioelementen eine Stellung im allgemeinen Entwicklungsprozeß der Materie anzuweisen und im Zusammenhange damit die Radioaktivität als notwendige Phase desselben erscheinen zu lassen.

Es liegt im begrifflichen Wesen der Entwicklung, daß das Zweckmäßige niemals fertig ins Dasein tritt, sondern als Resultat eines mehr oder minder langen Anpassungsprozesses erscheint, und zwar wird dieses Resultat in der Natur immer auf indirekte Weise erzielt, indem durch den Prozeß der indirekten Auslese aus dem ursprünglich untermischt vorhandenen Zweckmäßigen und Unzweckmäßigen das letztere infolge seiner Existenzunfähigkeit (Instabilität) in einem systematisch verbundenen Ganzen allmählich beseitigt wird, wodurch das Zweckmäßige in demselben Maße automatisch zunimmt.

Wenn man also die Entwicklungstheorie auch für die Elemente annimmt, so ist man logischerweise genötigt, nach Analogie mit den biologischen und kosmologischen Erscheinungen zur Erklärung der Zweckmäßigkeit in einem so komplizierten System, wie es nach den Theorien J. J. THOMSONS, E. RUTHERFORDS und N. BOHRS ein

[1] l. c.

Atom darstellt, ebenfalls das DARWINsche Prinzip der indirekten Auslese zu adoptieren. Viel einfacher aber, als auf biologischem Gebiete, wo dieses Erklärungsprinzip durch Erblichkeit der Eigenschaften und Variationstendenz der Organismen außerordentlich kompliziert ist, liegen die Verhältnisse bei den atomistischen und kosmischen Systemen, indem bei diesen die zweckmäßige Anordnung und Verteilung der Massen sich lediglich als das Resultat von Eliminationsprozessen darstellt, durch die unter der Wirkung von Zentralkräften diejenigen Bestandteile allmählich beseitigt werden, die den Mechanismus des Systems stören.[1]

Ich nehme demgemäß an, daß, nach Analogie mit jedem Entwicklungsprozesse, bei der Integration der Materie neben zweckmäßigen auch unzweckmäßige Atomsysteme entstehen, und betrachte die Radioaktivität als Äußerung einer mehr oder minder energisch wirkenden indirekten Auslese, die die vorhandenen Unzweckmäßigkeiten zu beseitigen strebt. Es muß daher jedes Element im Laufe seines Entwicklungsprozesses, bevor seine Atome sämtlich den stabilen Zustand erreichten, durch eine mehr oder minder lange radioaktive Phase hindurchgegangen sein, und in diesem Sinne ist die Radioaktivität eine allgemeine Eigenschaft der Materie.

Da die astrospektroskopischen Untersuchungen namentlich Sir NORMAN LOCKYERS bewiesen haben, daß die Existenzmöglichkeit der Elemente von kosmischen Bedingungen abhängt — beispielsweise erscheinen die Metalle, mit Ausnahme des Eisens, erst auf oder unterhalb der Sirianstufe, während die Linien des Eisens erst auf der Cygnianstufe sichtbar werden und oberhalb derselben vollständig verschwunden sind —, so muß man schließen, daß der Integrationsprozeß wesentlich durch das kosmische Kraftfeld beeinflußt wird, in dem er verläuft. Man darf daher nach Analogie mit der organischen Entwicklung auch annehmen, daß in den Anfangsstadien des Integrationsprozesses eines Elementes unzweckmäßige Atomsysteme mit kurzer Lebensdauer[2] vorwiegen werden,

[1] Es scheint mir, daß es sich hierbei, um BACO VON VERULAMS Worte zu gebrauchen, nicht nur um „Analogien des menschlichen Geistes“, sondern um „reale Analogien der Natur“ handelt, um jene „NEWTONsche Chemie“, deren Idee bereits MENDELEJEFF konzipiert und deren Bedeutung und Tragweite er in seiner am 31. Mai 1889 in der Royal Institution of Great Britain gehaltenen Vorlesung: „An attempt to apply to Chemistry one of the Principles of NEWTONS Natural Philosophy“ einen so beredten Ausdruck verliehen hat. *Nature* **40** (1889), 354—360.

[2] Von diesem Standpunkte aus wird die Existenz der auf der Sonne angenommenen, sich außerordentlich rasch umwandelnden Radioelemente be-

und daß in den späteren Stadien der Entwicklungsgeschichte eines Elementes immer zweckmäßigere Atomsysteme mit immer längerer Lebensdauer und in relativ immer größerer Zahl gebildet werden, bis schließlich bei vollkommener Anpassung an die kosmischen Verhältnisse im allgemeinen nur zweckmäßige, d. h. stabile Systeme entstehen.

Auf diese Weise wird es möglich, relative Altersbestimmungen bei den Elementen vorzunehmen. Wenn sich bei der Mehrzahl der Elemente keinerlei Anzeichen einer radioaktiven Tätigkeit verrät, so muß man für diese Elemente auf ein so hohes Alter schließen, daß das Prinzip der indirekten Auslese lange genug wirksam sein konnte, um alle unzweckmäßigen Atome zu eliminieren, und daß die bei dem andauernden Integrationsprozesse fortwährend neu entstehenden Atome sich den herrschenden kosmischen Verhältnissen so anzupassen vermochten, um für unsere Beobachtungsmethoden völlig stabil zu erscheinen.

Die eigenartige schwache β-Radioaktivität des Kaliums und Rubidiums, deren Deutung auf Grund der bisherigen Auffassung so große Schwierigkeiten verursachte, daß, wie SODDY[1] bemerkt, „es gegenwärtig zweifelhaft ist, ob wir es hier mit Fällen von Atomzerfall von der Art zu tun haben, wie sie bei den übrigen Radioelementen festgestellt worden sind“, wird im Lichte der hier vertretenen Hypothese sofort verständlich, stellt sich nämlich dar als das letzte Abklingen einer früher jedenfalls sehr energisch gewesenen Auslese, die sich jetzt nur noch auf Unzweckmäßigkeiten in den Elektronenringen[2] einzelner Atome erstreckt, während die Mehrzahl der vorhandenen oder durch Integration neu entstehenden Atome stabil ist. So erklärt sich auch in der einfachsten Weise das Fehlen

greiflich, deren reißend schnelle β-Strahlen nach P. LENARD die Erscheinung des Polarlichtes beim Eindringen in die Erdatmosphäre hervorrufen. Es bedarf dann nicht der Hypothese LENARDS, daß die ungeheuren Drucke des Sonneninnern Anlaß zur Bildung von Atomen mit noch größeren Massen als die des Uranatoms geben, die, durch Strömung aus dem Sonneninnern an die Oberfläche gelangend, bei ihrem Zerfall die Quelle der Strahlen sind. Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss. 1910, math.-naturw. Kl. 17. Abh.

[1] Chemie der Radioelemente, I. T., 1912, S. 171.

[2] Das makrokosmische Analogon könnte man im Saturnringe sehen, dessen dunkle Teilungen nach DANIEL KIRKWOODS schönen Untersuchungen bekanntlich gerade dort sich befinden, wo die Ringmeteoriten ein rationales Verhältnis der Umlaufszeit mit der von großen Saturnmonden haben würden, und wo nach PERCIVAL LOWELLS neueren Forschungen in den „*tore*-Zonen“ das bewegliche Gleichgewicht des Ringsystems sich noch heute deutlich offenbart.

von Zerfallprodukten bei diesen Elementen, das bisher so rätselhaft erschien, daß SODDY[1] sich darüber folgendermaßen äußert: „Man kann nur schwer glauben, daß die Atome des Kaliums und des Rubidiums wirklich zerfallen, wie die des Uraniums und des Thoriums, solange nicht Produkte ihres Zerfalls isoliert oder ähnliche sonstige Beweise für diesen Vorgang erbracht worden sind.“ Nach der hier vertretenen Auffassung bilden die beiden Alkalimetalle notwendige Übergangsglieder zwischen den älteren, bereits stabil gewordenen Elementen und den jüngsten, noch der Stabilität zustrebenden Gliedern des periodischen Systems, den beiden Stammvätern der radioaktiven Zerfallreihen, Thorium und Uran.

Bei diesen Elementen, die von dem hier eingenommenen Standpunkte aus nicht als senile, infolge Erschöpfung ihrer atomaren Energie zerfallende, sondern im Einklang mit ihrer Stellung im periodischen System als relativ juvenile Produkte des stöchiogenetischen Prozesses betrachtet werden müssen, sind Unzweckmäßigkeiten im Bau ihrer Atomsysteme noch in solchem Grade vorhanden, daß es zur Abschleuderung materieller Teilchen[2] kommt, also der Atomkern selbst in Mitleidenschaft gezogen wird, wodurch das Atom eine chemische Umwandlung erfährt. Allerdings läßt die bereits sehr lange mittlere Lebensdauer des Thoriums und Urans auf ein, absolut genommen, sehr hohes Alter beider Elemente und auf eine weitgehende Anpassung auch der durch Integration neu entstehenden Atome an die herrschenden kosmischen Verhältnisse schließen.

Selbstverständlich bleibt die mathematische Theorie der radioaktiven Erscheinungen, die sich lediglich auf das Gesetz der monomolekularen Umwandlungen gründet, von der veränderten Auffassung über das Wesen der Radioaktivität völlig unberührt. „Die Vorgänge“, so bemerkt RUTHERFORD[3], „die den Zerfall des Atoms veranlassen, sind zurzeit nur ein Gegenstand der Vermutung ..... Das Gesetz, nach dem die Umwandlung radioaktiver Stoffe vor sich

---

[1] l. c., S. 172.

[2] Das makrokosmische Analogon könnte man in der Kometengruppe des Sonnensystems erblicken, während das in dynamischem Gleichgewicht befindliche Planetensystem, in dem nach Ausmerzung aller Planeten mit rationalen Umlaufszeiten die Störungen sich periodisch ausgleichen, das Analogon für das stabile Atom darstellen würde.

[3] Radioaktive Umwandlungen 1907, S. 266.

geht, wirft auf diese Frage kein Licht; denn dieses Gesetz würde aus jeder Hypothese folgen.“ Allerdings würde nach der hier vertretenen Hypothese die Radioaktivitätskonstante in Wirklichkeit nicht konstant sein können, sondern mit zunehmender Elimination der unzweckmäßigen Atomsysteme und beständiger Neubildung immer stabilerer Atome stetig abnehmen müssen, was sich jedoch für Thorium und Uran bei deren schon jetzt ungeheuren mittleren Lebensdauer erst in geologischen Zeiträumen bemerkbar machen würde, also jedenfalls außerhalb des Bereiches physikalischer Beobachtungsmethoden läge.

Die von Thorium und Uran als Primärelementen sich ableitenden Glieder der radioaktiven Zerfallreihen lassen sich in zwei Gruppen einteilen, je nachdem sie nämlich einen eigenen Platz im periodischen System einnehmen oder lediglich mit anderen Elementen isotop sind. Die Existenz der letzteren Gruppe findet ihre ausreichende Deutung durch die Berthelotsche Hypothese. Hinsichtlich der Elemente der ersten Gruppe, die ich als an sich existenzberechtigt bezeichnen möchte, ist bemerkenswert, daß noch keines derselben auf dem direkten Wege durch Gruppenintegration entstehen konnte, woraus man folgern muß, daß diese Elemente, wenn sie als radioaktive Zerfallprodukte, also auf indirektem Wege gewissermaßen vorzeitig ins Dasein treten, den herrschenden kosmischen Bedingungen noch nicht angepaßt sein können, und daher schon aus diesem Grunde instabil sein müssen.

Allerdings muß schließlich auch jedes konservative System finitiv werden, aber in der Tatsache, daß der Integrationsprozeß sich noch nicht völlig auf das unterste Niveau des periodischen Systems erstrecken konnte, wie die leeren Stellen daselbst beweisen, das periodische System also in seiner Entwicklung noch nicht zum Abschluß gelangt ist, scheint mir die Berechtigung und die Begründung dafür zu liegen, in der Radioaktivität des Thoriums und Urans nicht einen infolge Energieerschöpfung bereits eingetretenen Alterszerfall zu sehen.

Im Zusammenhange mit diesen Betrachtungen soll schließlich noch eine Nomenklatur der Radioelemente auf genetischer Grundlage entworfen werden.

Über die jetzt gebräuchliche Nomenklatur urteilt F. Soddy[1] nicht mit Unrecht folgendermaßen: „Die Nomenklatur ist not-

[1] l. c., II. T., S. 48.

gedrungen schrecklich irreführend, da jedes einzelne Produkt, wie es gefunden wurde, von seinem Entdecker benannt worden ist, ohne daß ein vollständiges oder zuvor bekanntes System zugrunde gelegen hätte." Gleichwohl ist meines Wissens nach bis jetzt nur einmal, und zwar 1914 von GIUSEPPE ODDO[1], versucht worden, diese ebenso willkürliche wie im Grunde nichtssagende Nomenklatur durch eine rationelle Bezeichnungsweise zu ersetzen. Aber ODDO geht dabei von durchaus hypothetischen Vorstellungen über die Struktur der Radioelemente aus, indem er nämlich annimmt, daß sie analog den Benzolderivaten aus Sechsringen aufgebaut sind, an deren Ecken sich Heliumatome befinden. Durch die sukzessive Abspaltung dieser Heliumatome sollen aus den Ausgangselementen die Glieder der radioaktiven Zerfallreihen und schließlich die stabilen Endprodukte entstehen.

Der im folgenden versuchte Entwurf einer übersichtlichen und rationellen Nomenklatur der Radioelemente, die völlig hypothesenfrei ist, aber doch entsprechend der Natur der radioaktiven Erscheinungen einen genetischen Charakter trägt, gründet sich auf die folgenden einfachen Prinzipien:

1. Gruppierung. Unter den Radioelementen werden zwei scharf getrennte Gruppen unterschieden, je nachdem nämlich die Glieder der Zerfallreihen Elemente darstellen, die eine selbständige Stellung im periodischen System einnehmen, oder aber lediglich die Rolle von Isotopen spielen.

2. Normalelemente. Die der ersten Gruppe angehörenden Elemente — sie sollen kurz als Normalelemente bezeichnet werden — erhalten nach Analogie mit den stabilen Elementen als besondere und selbständige chemische Typen auch einen besonderen Namen, und zwar werden die jetzt üblichen Bezeichnungen beibehalten, mit Ausnahme der drei Emanationen, auf deren unzweckmäßige, an mittelalterliche Vorstellungen erinnernde und nur noch historisch zu rechtfertigende Benennung bekanntlich bereits Sir WILLIAM RAMSAY gebührend, wenn auch leider erfolglos hingewiesen hat. Daß der von ihm für die Radiumemanation in Vorschlag gebrachte Name Niton keine allgemeine Annahme gefunden hat, erklärt sich, wie SODDY[2] wohl mit Recht bemerkt, hauptsächlich daraus, daß „der ursprüngliche Name offenbare Vorteile dadurch bietet, daß

[1] *Gazetta chimica italiana* **1** (1914), 219.

[2] l. c., I. T., S. 105.

er die radioaktive Verwandtschaft zum Ausdruck bringt, und weil es von Nachteil ist, nur für eine der drei bekannten Emanationen einen neuen Namen vorzuschlagen". Demgemäß gestatte ich mir, für die drei Emanationen die aus der ersten und letzten Silbe der bisherigen schwerfälligen Bezeichnungsweise zusammengezogenen Namen

Radon	*Ro*
Thoron	*To*
Akton	*Ao*

in Vorschlag zu bringen, eine Benennung, die nicht nur den in SODDYS Worten liegenden Forderungen gerecht wird, sondern sich außer präziser Kürze noch dadurch auszeichnet, daß die Wortbildung konform mit der für die anderen Glieder der Edelgasgruppe ist.

3. Isotope. Die der zweiten Gruppe angehörenden Glieder der Zerfallreihen erhalten als Gattungsbezeichnung den Namen desjenigen Normalelements, mit dem sie isotop sind (chemische Charakteristik), während sie in genetischer Hinsicht auf das Normalelement bezogen werden, das ihnen in der Umwandlungsreihe zunächst vorangeht (genetische Charakteristik).

4. Die inerten Radioelemente. Das Passieren der Nullinie der Valenz oder der Eintritt in die Neutralitätszone der Affinität wird in physikalisch-chemischer Hinsicht als eine Phase von so eigenartiger Bedeutung im radioaktiven Desintegrationsprozesse der Materie betrachtet, daß die folgenden Elemente jeder Umwandlungsreihe auf das zugehörige inerte Element genetisch bezogen werden. Es wird dadurch gleichzeitig eine so große Vereinfachung und anschauliche Symmetrie der Nomenklatur erreicht, daß die Einschränkung des 3. Prinzips, nämlich insofern als Thoron und Akton keine Normalelemente, sondern Isotope des Radons sind, durch die gewonnenen wesentlichen Vorteile sich völlig rechtfertigt.

5. Umwandlungen. Ein zwischen genetischer und chemischer Charakteristik eingeschaltetes griechisches Zahlwort gibt die Anzahl der α-Strahlenumwandlungen des Normalelements an (Umwandlungscharakteristik). Für die β-Strahlungen ist eine solche Angabe nicht erforderlich, weil sich für jede Phase des radioaktiven Prozesses die Anzahl derselben aus den drei bekannten Charakteristiken nach dem SODDY-FAJANSschen Verschiebungsgesetz unmittelbar bestimmen läßt. — In der Formel eines

Radioelements wird die Zahl der α-Strahlenumwandlungen des Normalelements durch entsprechende Akzentuierung seines Symbols gekennzeichnet.

6. Strahlungscharakter. Durch Vorsetzen des Buchstabens α bzw. β vor Namen und Formel eines Radioelements wird es als α- bzw. β-Strahler charakterisiert (Strahlungscharakteristik), wobei Akzentuierung der Buchstaben zum Ausdruck bringt, daß das Element bei der Verzweigung der Zerfallreihen den Seitenweg eingeschlagen hat.

Zur Erläuterung des Systems dieser Nomenklatur mögen die folgenden drei Radioelemente dienen, deren Namen und Formeln in der bisherigen und in der neuen Bezeichnungsweise nebeneinander gestellt sind:

Radium C_2	RaC_2	β'-Radotrithallium	β'-$Ro'''Tl$
Radium D	RaD	β-Radotriblei	β-$Ro'''Pb$
Thorium D	ThD	β'-Thorotrithallium	β'-$To'''Tl$

Man erkennt mit einem Blick, daß sämtliche drei Elemente β-Strahler sind, von denen das erste und dritte dem Seitenzweige, das zweite dem Hauptzweige der Zerfallreihen angehört, ferner, daß das erste und dritte Element Glieder der Thalliumplejade und durch 3 α-Strahlenumwandlungen aus Radon bzw. Thoron hervorgegangen sind, während das zweite Element der Bleiplejade angehört und ebenfalls durch 3 α-Strahlenumwandlungen aus Radon entstanden ist. Da aber 3 α-Strahlenumwandlungen aus der Gruppe 0 des MENDELEJEFFschen Systems[1] in die Gruppe IIB führen würden, das Thallium jedoch der Gruppe IIIB, das Blei der Gruppe IVB angehört, so müssen nach dem Verschiebungsgesetz bei dem ersten und dritten Elemente noch je eine, bei dem zweiten noch zwei β-Strahlenumwandlungen als Kompensation stattgefunden haben, wie es auch in der Tat der Fall ist. Diese drei Elemente sind geradezu Musterbeispiele für den „schrecklich irreführenden“ Charakter der bisherigen und die Vorzüge der vorgeschlagenen Nomenklatur. Denn diese läßt im Gegensatz zu jener sofort erkennen, daß nicht RaD und ThD, sondern RaC_2 und ThD analoge und isotope Elemente, nämlich Glieder der Thalliumplejade sind, während RaD der Bleiplejade angehört.

In Tabelle 5 sind die Elemente der drei Zerfallreihen nach beiden Bezeichnungsweisen zusammengestellt.

[1] Vgl. SODDYS Schema in Chemie der Radioelemente II, 9.

Tabelle 5.

Nomenklatur der Radioelemente.

Uran-Reihe.

Uran	U	Uran	U
Uran X_1	U X_1	β-Uranomonothorium	β-U'Th
Brevium	Bv	Brevium	Bv
Uran II	U II	α-Breviouran	α-BvU
Ionium	Io	α-Breviomonothorium	α-Bv'Th
Radium	Ra	Radium	Ra
Radium-Emanation	RaEm	Radon	Ro
Radium A	RaA	α-Radomonopolonium	α-Ro'Po
Radium B	RaB	β-Radodiblei	β-Ro''Pb
Radium C_1	RaC_1	αβ-Radodiwismut	αβ-Ro''Bi
Radium C_2	RaC_2	β'-Radotrithallium	β'-Ro'''Tl
↓ ?			
Radium C'	RaC'	α-Radodipolonium	α-Ro''Po
Radium D	RaD	β-Radotriblei	β-Ro'''Pb
Radium E	RaE	β-Radotriwismut	β-Ro'''Bi
Polonium	RaF	Polonium	Po
Radium G	RaG	Poloniomonoblei	Po'Pb

Aktinium-Reihe.

Aktinium	Ac	Aktinium	Ac
Radioaktinium	RaAc	αβ-Aktiniothorium	αβ-AcTh
Aktinium X	Ac X	α-Aktiniomonoradium	α-Ac'Ra
Aktinium-Emanation	AcEm	Akton	Ao
Aktinium A	AcA	α-Aktomonopolonium	α-Ao'Po
Aktinium B	AcB	β-Aktodiblei	β-Ao''Pb
Aktinium C_1	AcC_1	αβ-Aktodiwismut	αβ-Ao''Bi
Aktinium C_2	AcC_2	α'-Aktodipolonium	α'-Ao''Po
↓ ?			
Aktinium D	AcD	β-Aktotrithallium	β-Ao'''Tl

Thorium-Reihe.

Thorium	Th	Thorium	Th
Mesothorium I	MesTh I	β-Thoriomonoradium	β-Th'Ra
Mesothorium II	MesTh II	β-Thoriomonoaktinium	β-Th'Ac
Radiothorium	RaTh	α-Thoriomonothorium	α-Th'Th
Thorium X	Th X	α-Thoriodiradium	α-Th''Ra
Thorium-Emanation	ThEm	Thoron	To
Thorium A	Th A	α-Thoromonopolonium	α-To'Po
Thorium B	Th B	β-Thorodiblei	β-To''Pb
Thorium C_1	Th C_1	αβ-Thorodiwismut	αβ-To''Bi
Thorium C_2	Th C_2	α-Thorodipolonium	α-To''Po
↓ Thorium D_2	Th D_2	Thorotriblei	To'''Pb
Thorium D	Th D	β'-Thorotrithallium	β'-To'''Tl

Die Vorteile der neuen Nomenklatur zeigen sich auch deutlich bei der Zusammenstellung der Isotopen zu ihren Plejaden; ich beschränke mich auf das Beispiel der Polonium-Plejade:

Po	
α-Ro'Po	α-Ro''Po
α-Ao'Po	α'-Ao''Po
α-To'Po	α-To''Po

Ohne hier im einzelnen auf weitere Vorteile der neuen Bezeichnungsweise einzugehen, die bei Betrachtung der Tabelle 5 sich von selbst darbieten, möchte ich zusammenfassend die beiden wesentlichsten Vorzüge dieser Nomenklatur hervorheben, nämlich

1. daß sie, frei von jeglichen hypothetischen Vorstellungen, durch 4 Charakteristiken in Namen und Formel jedes Radioelements die Genesis und das Wesen desselben in konzentriertester Form zum Ausdruck bringt;

2. daß sie sich zukünftigen Entdeckungen auf dem Gebiete der radioaktiven Elemente ohne weiteres anpassen läßt, also eine verwirrende Umgestaltung der Bezeichnungsweise weder ganz noch teilweise notwendig macht.

Ohne in dem vorgeschlagenen System bereits die ideale Nomenklatur sehen zu wollen, glaube ich doch, daß sich diese auf der hier gegebenen Grundlage wird entwickeln lassen.

Zusammenfassung.

Auf Grundlage der von dem Verf. vorgeschlagenen Systematik, nach der das periodische System von komplexer Natur ist, d. h. sich aus mehreren genetisch verbundenen Partialsystemen mit selbständigem Entwicklungsgange zusammensetzt, werden der Reihe nach behandelt:

1. Das Wasserstoffproblem, d. h. die isolierte Stellung des Wasserstoffs unter den Elementen und sein exklusives Verhalten,

2. die Einordnung der Metalle der seltenen Erden,

3. die Erscheinung der doppelten Periodizität in Verbindung mit dem Wesen des bereits von Mendelejeff gesuchten kubischen Systems,

4. der Charakter der VIII. Gruppe des Mendelejeffschen Systems namentlich im Hinblick auf die Wertigkeitsverhältnisse,

5. die Natur der zwischen H und He fehlenden Elemente mit Rücksicht auf die theoretische und spektroskopische Erforschung der kosmischen Nebelgase.

Nach einer Betrachtung über die Atomgewichtsquotienten der Gruppenelemente und im Anschluß daran über den Ursprung des Aktiniums und die Atomgewichte der Manganhomologa wird eine allgemeine Entwicklungstheorie der Elemente entworfen, die ihren zusammenfassenden Ausdruck in zwei Prinzipien, dem ontogenetischen Prinzip der Serienbildung und dem phylogenetischen Prinzip der Gruppenentwicklung, findet.

Vom Standpunkte dieser Theorie aus wird eine entwicklungsgeschichtliche Erklärung gegeben für

1. die Periodizität der Elemente,
2. die Anomalie des Tellurs,
3. die Wiederholung der Triaden in der VIII. Gruppe,
4. die relative Häufigkeit der Elemente,
5. die Diskrepanzen zwischen periodischem System und Sternspektroskopie,
6. die Radioaktivität als notwendige Phase im allgemeinen Entwicklungsgange der Materie.

Schließlich wird eine genetische Nomenklatur der Radioelemente aufgestellt.

Dresden, *Unterrichtsministerium, 22. November 1917.*

Bei der Redaktion eingegangen am 23. November 1917.
